

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior

Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática Industrial



Trabajo Fin de Grado

Construcción y ensayo de un resbalón magnético silencioso

ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR

Autor: Elena Embid Irueste

Tutor/es: Efrén Díez Jiménez

Septiembre 2020



Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática
Industrial**

Trabajo Fin de Grado

**CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UN
RESBALÓN MAGNÉTICO SILENCIOSO**

Elena Embid Irueste

Alcalá de Henares, Septiembre 2020

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

Escuela Politécnica Superior

**Grado en Ingeniería en Electrónica y Automática
Industrial**

Trabajo Fin de Grado

**CONSTRUCCIÓN Y ENSAYO DE UN
RESBALÓN MAGNÉTICO SILENCIOSO**

Autor: Elena Embid Irueste

Director: Efrén Díez Jiménez

TRIBUNAL:

Presidente: Cristina Alén Cordero

Vocal 1º: José Luis Álvarez Pérez

Vocal 2º: Efrén Díez Jiménez

FECHA: 16 de Septiembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto pone fin a una etapa de cinco años en esta Escuela Politécnica Superior de Alcalá de Henares: ha sido una etapa dura, con muchos altibajos y llena de esfuerzo y dedicación.

Es por ello por lo que quiero dar las gracias a las muchas personas que me han ayudado a seguir hasta finalmente terminar la carrera.

- A mi tutor Efrén, por haberme guiado en el seguimiento de este proyecto, ayudándome a mejorar el modelo fabricado.
- A los profesores, tanto del instituto como de la universidad, por haberme dado las bases para llegar hasta aquí.
- A los compañeros que se han ido cruzando en mi camino y han hecho más llevadero el sufrimiento.
- A mi familia: mis abuelos y mis tíos y sobre todo a mis padres y mis hermanas, por estar siempre ahí.
- A mis amigas, que siempre han estado animándome y han servido como vía de escape.
- A Julio, mi principal apoyo durante la carrera y sobre todo en esta última etapa, ayudándome en todo momento y no dejando que me desanimara.

INDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	3
RESUMEN EXTENDIDO.....	5
Capítulo 1 – Introducción.....	7
1.1 – INTRODUCCIÓN.....	7
1.2 – JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN	8
1.3 – OBJETIVOS	9
1.4 – ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	9
Capítulo 2 – Magnetismo.....	11
2.1 – INTRODUCCIÓN	11
2.2 – DIPOLO MAGNÉTICO	12
2.3 – CAMPO MAGNÉTICO.....	12
2.4 – CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES MAGNÉTICOS	13
2.5 – TIPOS DE IMANES.....	14
2.6 – APLICACIONES DEL MAGNETISMO.....	15
Capítulo 3 – Estado del arte	17
3.1 – INTRODUCCIÓN	17
3.2 – ESTUDIO DE MERCADO	17
3.2.1 – AYR.....	19
3.2.2 – AGB	19
3.2.3 – BONAITI.....	20
Capítulo 4 – Diseño mecánico	25
4.1 – INTRODUCCIÓN	25
4.2 – MODELO DE REFERENCIA.....	25
4.3 – MODELO PRELIMINAR.....	27
4.4 – MODELO DEFINITIVO	31
4.4.1 – POSICIÓN DE LOS IMANES	33
Capítulo 5 – Simulación de las fuerzas magnéticas.....	39
5.1 – INTRODUCCIÓN	39
5.2 – GENERACIÓN DEL MODELO EN 3D	39
5.3 – EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS	40
5.2.1 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 2 MM	42
5.2.2 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 1 MM	44
5.2.3 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 0,5 MM	45
Capítulo 6 – Fabricación y montaje	47
6.1 – IMPRESIÓN EN 3D	47
6.2 – INSTALACIÓN DE LA PIEZA	48
Capítulo 7 – Ensayos y medidas de la fuerza aplicada	51
7.1 – INTRODUCCIÓN	51
7.2 – SISTEMA DE MEDIDA DE LA FUERZA.....	51
7.3 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	53
Capítulo 8 – Presupuesto	55
8.1 – COSTE DE LA MANO DE OBRA.....	55
8.2 – COSTE DEL MATERIAL.....	56
8.2 – COSTE GLOBAL	57
Capítulo 9 – Producción y comercialización del prototipo	59

9.1 – DISEÑO DEL NUEVO PROTOTIPO	59
9.2 – FABRICACIÓN POR INYECCIÓN.....	60
9.3 – COSTES DEL PROCESO	60
9.3.1 – COSTES DEL PROCESO DE INYECCIÓN.....	61
Capítulo 10 – Conclusiones	65
Bibliografía	69
ANEXOS	73

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. PESTILLO CONVENCIONAL	7
FIGURA 2. IMÁN PERMANENTE	11
FIGURA 3. DIPOLO MAGNÉTICO.....	12
FIGURA 4. DIMENSIONES PRINCIPALES DE UN RESBALÓN CONVENCIONAL	18
FIGURA 5. CONDENA (IZQ.); LLAVE BORJA (CENTRO); LLAVE YALE (DERCH.)	18
FIGURA 6. CERRADURAS 825-C Y 826-C.....	19
FIGURA 7. CERRADURAS CENTRO FOCUS CON LLAVE BORJA, POLARIS 2XT CON CONDENA, REVOUTION XT CON LLAVE YALE	20
FIGURA 8. CERRADURA B-ONE.....	21
FIGURA 9. CERRADURAS B-EVO Y B-FRANCE	21
FIGURA 10. CERRADURAS B-SMART, B-FORTY Y B-TWIN.....	22
FIGURA 11. MODELOS CERRADURA B-KLASS.....	22
FIGURA 12. CERRADURA B-LATCH	22
FIGURA 13. SERIES B-FIVE Y B-ALEX	23
FIGURA 14. CERRADURA B-ALEX, INSERTADA EN UNA PUERTA.	23
FIGURA 15. CERRADURA B NO-HA	24
FIGURA 16. RESBALÓN CONVENCIONAL.....	25
FIGURA 17. DIMENSIONES DEL RESBALÓN CONVENCIONAL.....	26
FIGURA 18. TORNILLO TIRAFONDO M6	27
FIGURA 19. HUECO EN EL MARCO DE LA PUERTA	27
FIGURA 20. MODELO PRELIMINAR. FRONTAL DE LA PIEZA DEL MARCO	28
FIGURA 21. MODELO PRELIMINAR. DETALLES DE LA PIEZA DEL MARCO	28
FIGURA 22. MODELO PRELIMINAR. PARTE TRASERA DE LA PIEZA DEL MARCO	29
FIGURA 23. HUECO EN LA PUERTA	29
FIGURA 24. MODELO PRELIMINAR. FRONTAL DE LA PIEZA DE LA PUERTA	30
FIGURA 25. MODELO PRELIMINAR. PARTE POSTERIOR DE LA PIEZA DE LA PUERTA.....	30
FIGURA 26. MODELO PRELIMINAR. PARTE POSTERIOR DE LA PIEZA DE LA PUERTA MODIFICADA	31
FIGURA 27. MODELO DEFINITIVO. PARTE TRASERA DE LA PIEZA DE LA PUERTA	32
FIGURA 28. PARTES DE UNA MANILLA.....	33
FIGURA 29. INTERIOR DE LA ROSETA	33
FIGURA 30. POSICIÓN DE LOS IMANES CON LA MISMA POLARIDAD.	34
FIGURA 31. MODELO COMPLETO PRELIMINAR	35
FIGURA 32. POSICIÓN DE LOS IMANES CON DISTINTA POLARIDAD	35
FIGURA 33. POSICIÓN DEFINITIVA DE LOS IMANES	36
FIGURA 34. MODELO DEFINITIVO	37
FIGURA 35. POSICIÓN DE LOS IMANES EN SIMULACIÓN	39
FIGURA 36. CONVERGENCIA DE LOS RESULTADOS DE SIMULACIÓN.....	40
FIGURA 37. SIMULACIÓN DE LAS LÍNEAS DEL CAMPO MAGNÉTICO	41
FIGURA 38. FUERZAS MAGNÉTICAS APLICADAS EN CADA IMÁN.....	42
FIGURA 39. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON 2 MM DE SEPARACIÓN	42
FIGURA 40. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON 1 MM DE SEPARACIÓN	44
FIGURA 41. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON 0,5 MM DE SEPARACIÓN	45
FIGURA 42. HUECOS DE LA PIEZA IMPRESA EN 3D	47
FIGURA 43. GUBIA.....	48
FIGURA 44. PIEZA IMPRESA DERCH. Y PIEZA LIMPIA IZQ.	48
FIGURA 45. PIEZAS COLOCADAS	49
FIGURA 46. INSTALACIÓN DEL RESBALÓN DEFINITIVO.....	50
FIGURA 47. FIELTRO SITUADO EN EL MARCO DE LA PUERTA	50
FIGURA 48. DINAMÓMETRO UTILIZADO EN LOS ENSAYOS	51
FIGURA 49. SISTEMA DE MEDIDA DE LA FUERZA MAGNÉTICA.....	52
FIGURA 50. DISEÑO PRODUCCIÓN EN SERIE.....	59
FIGURA 51. MÁQUINA DE INYECCIÓN	62
FIGURA 52. POSICIÓN DEFINITIVA DE LOS IMANES	66

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE UN RESBALÓN CONVENCIONAL.....	18
TABLA 2. FUERZAS QUE ACTÚAN SOBRE CADA IMÁN	41
TABLA 3. VALORES DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS PARA UNA SEPARACIÓN DE 2 MM	43
TABLA 4. REPRESENTACIÓN DE LOS IMANES QUE INTERACTÚAN ENTRE SÍ	44
TABLA 5. VALORES DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS PARA UNA SEPARACIÓN DE 1 MM	44
TABLA 6. VALORES DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS PARA UNA SEPARACIÓN DE 0,5 MM.....	45
TABLA 7. VALORES DE LAS FUERZAS MAGNÉTICAS MÁXIMAS	45
TABLA 8. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS CON EL DINAMÓMETRO	53
TABLA 9. TABLA SALARIAL DEL BOE NÚM. 251 DE 2019.....	55
TABLA 10. COSTE DE LA MANO DE OBRA	56
TABLA 11. COSTE DEL MATERIAL	56
TABLA 12. COSTE GLOBAL	57
TABLA 13. COSTES DEL MATERIAL	60
TABLA 14. COSTE DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN	61
TABLA 15. COSTES DE LA MAQUINARIA DE FABRICACIÓN	62
TABLA 16. COSTES DE LAS PLACAS DEL MOLDE.	63
TABLA 17. COSTES TOTALES DE LA FABRICACIÓN DEL RESBALÓN MAGNÉTICO	63

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo realizar el diseño en 3D, a través de programas CAD, de un resbalón magnético silencioso para instalar en una puerta de paso, empleando imanes permanentes.

Para ello, se comenzará modelando el resbalón, a partir de la cerradura original a remplazar y verificando que el diseño es válido, tanto las dimensiones como el funcionamiento. Además, se realizarán simulaciones y ensayos de las fuerzas magnéticas del mismo.

Por otra parte, se generarán los planos de las piezas, se hará un seguimiento de la fabricación de estas y se instalarán. Para finalizar, se planificará el desarrollo de la posible producción del resbalón en serie para su comercialización.

Palabras clave: magnetismo, resbalón, silencioso, puerta, imanes.

ABSTRACT

The objective of this project is to carry out the 3D design, through CAD programs, of a silent magnetic lock. It will be installed on a passage door by using permanent magnets.

To begin with, we will model the lock, starting from the mechanical prototype to be replaced and verifying that the design. Moreover, the magnetic forces will be tested.

On the other hand, we will do CAD drawings and we will install and test the lock. Finally, we will do a business plan to study the viability of a massive production.

Keywords: magnetic, lock, silent, door, magnets.

RESUMEN EXTENDIDO

El principal objetivo de este proyecto es el diseño y la fabricación de un resbalón magnético mediante la impresión en 3D. Su aplicación será la de mantener una puerta de paso abierta o cerrada, reduciendo el ruido de estos procesos lo máximo posible. Este resbalón estará formado por dos piezas una situada en el marco y otra en la puerta.

La motivación para la realización de este prototipo es el ruido que generan los resbalones convencionales, instalados en las puertas de paso, al abrir o cerrar una puerta, debido a que su mecanismo está basado en un muelle y a que contienen elementos salientes que chocan con el marco de la puerta.

La base del funcionamiento de este resbalón es el magnetismo, es decir, la propiedad que tienen ciertos objetos de interactuar entre ellos, mediante fuerzas de atracción o repulsión cuya magnitud aumenta de forma inversamente proporcional a la distancia entre los objetos, por lo que no es necesario que haya contacto para que se genere.

Se van a instalar dos hileras de imanes permanentes con la misma polaridad, de forma que cuando estén próximas repelerán entre ellas, lo que genera las fuerzas necesarias para mantener la puerta cerrada.

Para el diseño de las piezas dónde se van a instalar los imanes se va a utilizar la herramienta de modelado en 3D Solid Edge. Con el fin de poder instalar las piezas diseñadas en los huecos que deja el resbalón mecánico en la puerta se ha utilizado este como modelo en cuanto a la forma y las dimensiones que debe tener el nuevo prototipo.

Una vez se ha completado el diseño de las piezas se van a estudiar las diferentes posibilidades de instalación de los imanes hasta llegar a un modelo completo definitivo.

En la creación de prototipos nuevos, es importante realizar el mayor número de pruebas en simulación antes de la fabricación con el fin de detectar y corregir todos errores que sea posible en el proceso de diseño, ya que una vez se ha fabricado suele ser llevar más tiempo corregir fallos, lo que hace que se puedan incrementar los costes del proyecto.

Para estudiar la validez del modelo se van a simular las fuerzas magnéticas que actúan en cada imán mediante el software ANSYS Electromagnetics. Además, este programa permite hacer un estudio paramétrico que permite ver como varían dichas fuerzas al irse abriendo la puerta, lo que permite ver el comportamiento de las fuerzas en cada momento.

Para la fabricación del resbalón, en primer lugar, se van a imprimir las piezas diseñadas mediante una impresora 3D y se va a comprobar que el diseño encaja en la puerta que se va a utilizar como modelo y que a su vez los imanes se pueden instalar en las piezas.

Una vez se ha obtenido un modelo físico válido del resbalón magnético se colocan los imanes y se instala en la puerta para poder comprobar su funcionamiento completo.

Se comprueba que el resbalón magnético cumpla con las especificaciones del proyecto, para ello, se comprueba si se ha reducido el ruido y se realizan ensayos para comprobar la eficacia del mecanismo y corregir cualquier error que se pueda dar.

Por último, se hace un análisis de costes y un estudio de una posible producción en serie para la comercialización del resbalón magnético fabricado.

Capítulo 1 – Introducción

1.1 – INTRODUCCIÓN

En este proyecto de fin de carrera se pretende diseñar y fabricar una cerradura basada en un resbalón magnético, con el objetivo de que sea más silencioso que uno mecánico.

El resbalón es un mecanismo que forma parte de la cerradura de una puerta, y permite que esta se mantenga cerrada. Su funcionamiento consiste en una pieza móvil, llamada pestillo, que sobresale por el lateral de la puerta y cuando está cerrada, queda encajado en el cerco situado en el marco, para evitar que se abra sola. El resbalón actúa con un muelle sobre el pestillo; al girar la manilla, el muelle se contrae y retrae la pieza, para permitir abrir la puerta. [1]

Este mecanismo permite cerrar las puertas empujando, sin necesidad de usar la manilla, hasta que el resbalón queda encajado, ya que el propio marco de la puerta empuja al pestillo y retrae el muelle. Para ello, dicho pestillo tiene una forma particular (Figura 1): por un lado, es rectangular, pero la cara que choca con el marco de la puerta está redondeada, facilitando así el movimiento del pestillo y realizándolo de forma más suave. Como no todas las puertas giran hacia el mismo lado para cerrarse, en la mayor parte de resbalones el pestillo se puede rotar sobre su eje horizontal para cambiar la orientación.



Figura 1. Pestillo convencional

Este tipo de funcionamiento mecánico tiene como inconvenientes los ruidos que produce, ya sea el resorte al retraerse para abrir o cerrar la puerta o si se cierra la puerta de manera brusca, el pestillo, al sobresalir de la puerta, choca con el marco. Además, en este mecanismo se producen rozamientos, que, con el uso, desgastan los elementos de la puerta.

Para construir un modelo magnético válido que sustituya este mecanismo es necesario que el diseño del resbalón encaje en el resto de los elementos de la puerta adaptando el diseño en forma y tamaño. Además, se debe comprobar que cumple con el objetivo principal del diseño, que la puerta haga menos ruidos.

Por ello, en esta memoria se irán detallando los diferentes pasos realizados para el diseño del resbalón, hasta llegar a obtener un modelo final válido que será, posteriormente, fabricado e instalado.

1.2 – JUSTIFICACIÓN Y MOTIVACIÓN

Según la Real Academia Española, las puertas se definen como “Armazón de madera, hierro u otra materia, que, engoznada o puesta en el quicio y asegurada por el otro lado con llave, cerrojo u otro instrumento, sirve para impedir la entrada y salida, para cerrar o abrir un armario o un mueble”.

Son elementos que se tienen múltiples usos, pero este proyecto se centrará en las puertas de paso de un edificio, es decir, aquellas cuyo objetivo es mantener aislada una estancia, para ello se utiliza el resbalón.

Actualmente, durante la convivencia en una vivienda, un edificio de oficinas, etc., existen muchos ruidos que son molestos, uno de los principales es el provocado al cerrar bruscamente una puerta, es decir, por los portazos. En estas situaciones, el ruido lo produce el pestillo que al sobresalir de la puerta choca con el marco.

El resbalón también produce ruido al contraer el muelle cuando este se actúa de forma brusca, resultando molesto y acentuándose con el paso del tiempo, ya que se va desgastando y perdiendo elasticidad.

En base a la necesidad de eliminar esos ruidos, habría que eliminar el mecanismo del muelle y el pestillo para que no haya ningún saliente.

La solución que se propone para este tipo de problemas es el magnetismo. Este tiene múltiples aplicaciones, entre ellas, se utiliza cada vez más para sustituir funcionamientos mecánicos, en los que las transmisiones de las fuerzas se realizan mediante contacto, lo que provoca rozamientos y un mantenimiento más exhaustivo debido al desgaste de los elementos por el rozamiento.

Para generar las fuerzas magnéticas se utilizan imanes permanentes. Estos dispositivos generan campos magnéticos formados por líneas de fuerza. Se componen de dos polos, uno en cada extremo, de tal manera que las fuerzas magnéticas nacen en un polo y mueren en el otro. Esto provoca que un par de imanes se pueden atraer, si se aproximan por los polos contrarios o repeler si los polos son iguales. Además, mantienen sus propiedades magnéticas sin necesidad de mantenimiento y es muy difícil que lleguen a perderlas.

Este principio de atracción y repulsión de los imanes es el que se utiliza para eliminar el contacto entre elementos y poder transmitir una fuerza.

Aunque el magnetismo es un campo que el ser humano ha utilizado desde hace siglos, se sigue estudiando para implantarlo en cada vez más aplicaciones con muy buenos resultados.

Por ello, ante el problema observado en el funcionamiento de los resbalones, se considera una buena solución el empleo del magnetismo como alternativa más silenciosa y duradera, ya que mediante el uso de imanes se podrá modificar el mecanismo del resbalón para hacerlo más silencioso.

Para que el resbalón final sea fácil de implantar, el diseño debe cumplir con unas medidas concretas, ya que tiene que poder encajarse en una puerta usada de referencia y poder comprobar así su funcionamiento, para eso se estudiará previamente el resbalón convencional.

1.3 – OBJETIVOS

El objetivo de este proyecto ha sido la generación de un modelo magnético válido para un resbalón, que sustituirá a uno convencional y se instalará en una puerta con objeto de disminuir todo lo posible los ruidos que esta provoca cuando se abre y sobre todo cuando se cierra.

Por ello, para alcanzar el objetivo principal, el proyecto se ha dividido en los siguientes subobjetivos:

- Búsqueda de resbalones magnéticos ya comercializados: estado del arte.
- Diseño mecánico del resbalón magnético en Solid Edge: pieza situada en el marco y en la puerta.
- Selección de la mejor colocación de los imanes en las piezas diseñadas.
- Simulación del funcionamiento y magnitud de las fuerzas.
- Seguimiento de la fabricación y de la instalación.
- Realización de pruebas de las fuerzas aplicadas, comparando distintas situaciones.
- Generación de los planos de ambas piezas.

1.4 – ESTRUCTURA DE LA MEMORIA

La memoria de este proyecto de fin de grado está formada por 10 capítulos separados en tres bloques.

Los tres primeros capítulos pertenecen al bloque 1. En el capítulo 1, el actual, se realiza un planteamiento general de lo que es un resbalón, los principales problemas del mecanismo actual como justificación del proyecto y las soluciones que se van a desarrollar en esta memoria con los objetivos planteados.

El capítulo 2, también perteneciente al primer bloque, detalla en qué consiste en magnetismo y la elección de los imanes utilizados.

El último capítulo de este primer bloque es el capítulo 3, que detalla los distintos resbalones magnéticos que se encuentran comercializados y dan una solución a algunos de los problemas planteados.

El segundo bloque se centra en el diseño y la construcción del resbalón. Los capítulos pertenecientes a este bloque son los siguientes:

- Capítulo 4 – Diseño mecánico. Se desarrollan los pasos que se han seguido hasta llegar a un modelo definitivo del resbalón.
- Capítulo 5 – Simulación de las fuerzas magnéticas. Se detallan las simulaciones y los resultados de las fuerzas magnéticas que se aplican en los imanes cuando se abre la puerta.
- Capítulo 6 – Fabricación y montaje. Proceso de impresión e instalación de las piezas en la puerta.
- Capítulo 7 - Ensayos y medidas de la fuerza aplicada. Pruebas de funcionamiento del resbalón y comparación de los resultados con la simulación.

Por último, el tercer bloque incluye el capítulo 8, en el que se indican los recursos empleados en el desarrollo del proyecto y su coste.

También a este último bloque pertenece el capítulo 9 que habla del trabajo futuro que se puede realizar partiendo de este proyecto, para poder producir y comercializar este resbalón.

Por último, al final de este documento se muestran las conclusiones (Capítulo 10), la bibliografía y los anexos que incluyen el presupuesto de la fabricación por inyección y el plano del resbalón magnético fabricado.

Capítulo 2 – Magnetismo

2.1 – INTRODUCCIÓN

El magnetismo se define como una propiedad natural que tienen algunos objetos para ejercer fuerzas de atracción o repulsión sobre otros materiales. La región espacial que se ve afectada por dichas fuerzas se denomina campo magnético. La física es la ciencia encargada de estudiar la creación e interacción de los campos magnéticos. [2]

Todos los materiales son influidos, en mayor o menor medida por la presencia de un campo magnético, pero el níquel, el hierro, el cobalto y sus aleaciones tienen propiedades magnéticas más intensas. Estos cuerpos con un gran magnetismo se les conocen comúnmente como imanes.

Los imanes presentan un polo norte y otro sur, donde las fuerzas de atracción son más potentes. Estos no pueden existir aislados ya que, si un imán se divide en dos, cada extremo de los imanes resultantes se convierte en un polo de cada signo, por lo que se dice que están formados por un dipolo. Los polos iguales de dos imanes se repelen y los opuestos se atraen. [3]



Figura 2. Imán permanente

Las fuerzas magnéticas se distribuyen en forma de campo magnético, esto quiere decir que las fuerzas se encuentran rodeando una fuente de energía magnética (imán) y el alcance de esta región es dónde otros elementos magnéticos se ven afectados por dichas fuerzas. [4]

Estos se generan a partir de partículas cargadas en movimiento, por eso, la corriente eléctrica produce un campo magnético debido al movimiento de las cargas eléctricas, a esto se le conoce como electromagnetismo. En esta propiedad se basa la fabricación de los electroimanes, compuestos de un material magnético con una bobina a su alrededor por la que cuando circula corriente, dependiendo de su intensidad se crea un campo magnético de distinta magnitud. Este tipo de imanes no se van a estudiar en este proyecto, ya que necesita electricidad para ser efectivo y la solución que se busca es más sencilla. [2]

2.2 – DIPOLO MAGNÉTICO

Como ya se ha mencionado anteriormente, todos los imanes están constituidos por un dipolo magnético o, lo que es lo mismo, por un polo norte y un polo sur. Cada polo ejerce una fuerza magnética sobre elementos que se encuentran dentro de su campo de alcance o lo que es lo mismo, de su campo magnético.

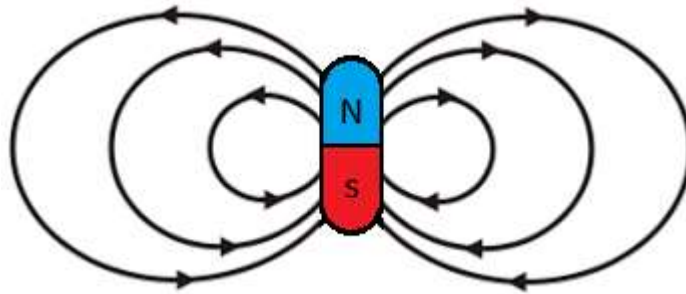


Figura 3. Dipolo magnético

Dichas fuerzas son líneas de campo cerradas: nacen en el polo norte del imán y divergen en el polo sur, lo que provoca que el sentido de las fuerzas en cada polo sea inverso y por eso los polos distintos se atraen y los iguales se repelen. Además, cuanto más próximo se esté de un polo más potentes son las fuerzas que ejercen.

Un ejemplo de dipolo magnético es el planeta Tierra, en el que existe un polo Norte y un polo Sur, cada uno ejerce una influencia magnética que es más potente en los casquetes polares, ya que son las zonas más próximas a cada uno de los polos. A menor escala, las moléculas también forman dipolos magnéticos debido a la carga eléctrica de sus átomos, y son las responsables de que existan materiales magnéticos, ya sean altamente magnéticos o no. [5]

2.3 – CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético es la representación matemática de la distribución de las fuerzas generadas por una fuente magnética, en esta región es donde los elementos magnéticos se ven afectados por dicha fuente. Para que exista un campo magnético, siempre tiene que haber una fuente de energía magnética. [4]

El magnetismo es producido por una carga o corriente móvil, pero para comprender como ciertos materiales, como los imanes, pueden generar un campo magnético se parte de su estructura molecular.

La materia está formada por átomos, que se pueden considerar como un núcleo cargado positivamente alrededor del cual giran electrones con carga negativa, de tal manera que el átomo como un todo es neutro. Los electrones son cargas puntuales en movimiento y como tal generan un campo magnético, pero este es muy débil, y al ser partículas desordenadas sus efectos no se suman y

algunos de ellos se anulan entre sí. Cuando estas partículas se ven afectadas por un campo magnético más potente tienden a alinearse en la dirección y sentido del campo, incrementando así el campo total. [6] [7]

Por tanto, las interacciones magnéticas se producen entre partículas cargadas en movimiento y se describen mediante el campo magnético como un vector \vec{B} , tangente a la línea del campo. [3]

La Ley de Lorentz establece que, en una región del espacio, donde existe un campo magnético, en la que una carga (q), que se desplaza a una velocidad \vec{v} , experimenta una fuerza perpendicular y proporcional tanto a la velocidad (v) como al campo (B). Así, dicha carga percibirá una fuerza descrita con la siguiente ecuación:

$$\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$$

2.4 – CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES MAGNÉTICOS

Los materiales pueden tener comportamientos magnéticos diferentes al verse afectados por un campo magnético externo, por ello se pueden clasificar en los siguientes tipos:

- **Diamagnéticos:** en este tipo de materiales, cada átomo se dispone de forma arbitraria, al someterse a un campo magnético inducido, los átomos se orientan en sentido contrario al campo, por lo que son ligeramente repelidos por los imanes. Ejemplos: bismuto (Bi), plata (Ag), plomo (Pb).
- **Paramagnéticos:** en estos materiales cada átomo actúa como un imán dispuesto de forma arbitraria, por lo que no generan un efecto magnético global, al inducir un campo magnético, el campo que genera cada átomo se orienta en el mismo sentido del campo magnético aplicado, por lo que son atraídos por los imanes. Ejemplos: aluminio (Al), paladio (Pd). [6]
- **Ferromagnéticos:** este tipo de materiales presentan sus átomos divididos en dominios, cada uno de ellos ordenado magnéticamente, pero el material no presenta magnetismo debido a que los distintos dominios están desordenados entre ellos. Al aplicar un campo magnético externo, estos dominios se ordenan, orientándose en la misma dirección que el campo aplicado, y se mantienen de esta forma, aunque deje de ser influido por el campo externo, por lo que el material pasa a ser fuertemente magnético y presenta magnetización en ausencia de un campo externo, es decir, además de ser atraídos por otros imanes son capaces de atraerlos. Ejemplos: hierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni). [8]
- **Antiferromagnéticos:** material no magnético ante la acción de cualquier campo. Ejemplo: óxido de manganeso (MnO₂).
- **Ferritas o ferromagnéticos:** material con las mismas propiedades que el ferromagnético, pero con baja conductividad eléctrica. Ejemplo: ferrita de hierro.

Los materiales ferromagnéticos son los utilizados para fabricar imanes ya que tienen un poder magnético muy elevado y son capaces de inducir su propio campo magnético, lo que les permite atraer al resto de materiales magnéticos. [9]

2.5 – TIPOS DE IMANES

Los imanes pueden ser de dos tipos: naturales o artificiales. Los imanes naturales son minerales capaces de atraer metales, como la magnetita (Fe_3O_4), en cambio los imanes artificiales son los creados por el hombre, normalmente mediante el frotamiento o contacto entre un imán y un material ferromagnético, o por corriente eléctrica en el caso de los electroimanes. Los imanes artificiales a su vez pueden clasificarse en temporales o permanentes. [10]

- Temporales: son aquellos cuya imantación no es permanente. También se les denomina magnéticamente blandos ya que son fáciles de imantar aplicando un campo magnético, pero de igual manera, cuando este se deja de aplicar, pierden sus propiedades magnéticas con facilidad, es decir, solo son capaces de generar su propio campo magnético durante un periodo de tiempo. Los electroimanes se consideran de en este grupo.
- Permanentes: son aquellos que una vez imantados conservan la propiedad magnética. Se les denomina magnéticamente duros ya que son difíciles de desimantar y generan su propio campo magnético de forma permanente sin la presencia de uno externo. Estos imanes se dividen en distintos tipos, dependiendo de su composición y propiedades. [11]
 - Cerámicos o ferritas: se elaboran a partir de partículas de hierro, no son especialmente potentes y son frágiles, pero presentan una buena resistencia a la desimantación y son fáciles de obtener.
 - Alnicos: su composición principal es una aleación de aluminio, cobalto y níquel, su potencia magnética es débil, pero resisten a altas temperaturas (425°C).
 - Neodimio: se componen de neodimio, hierro y boro, son los imanes más potentes, pero no resisten tan bien temperaturas más elevadas y su precio es más elevado.
 - Samario-Cobalto: están compuestos de samario y cobalto, son muy potentes y además resisten a la oxidación a elevadas temperaturas, por lo que son los más caros.
 - Plásticos: se componen de sustancias plásticas y resinas y de materiales magnéticos, esto hace que sean más flexibles, pero de bajo poder magnético y alta oxidación. [12]

Para el resbalón magnético que se pretende diseñar en este proyecto los imanes deben ser capaces de generar su propio campo magnético, además, este debe ser duradero con una potencia lo

suficientemente elevada para que pueden interactuar entre ellos sin que llegue a haber contacto. Por ello, los imanes que se usarán serán permanentes de neodimio, ya que van a estar expuestos a la temperatura ambiente y no existe peligro de oxidación.

2.6 – APLICACIONES DEL MAGNETISMO

El magnetismo fue descubierto en la antigua Grecia por filósofos que observaron como ciertas piedras atraían al hierro. Más adelante, en el siglo XII, el ser humano comprendió el magnetismo terrestre y lo empezó a utilizar para la fabricación de brújulas, aunque no fue hasta el siglo XIII cuando se encontró el primer tratado escrito formalmente sobre el magnetismo.

Hoy en día, los imanes se emplean en la industria, desde el desarrollo de motores, la generación eléctrica, la conducción y almacenamiento de cargas eléctricas, hasta la computación, para el registro de información y sobre todo en la electrónica. También es muy utilizado en medicina, por ejemplo, para realizar resonancias magnéticas. [13]

Además, el magnetismo es un buen sustituto de los sistemas mecánicos de transmisión de fuerzas, que debido a el contacto entre los elementos que lo forman, estos se desgastan con el tiempo y requieren mantenimiento, mientras que el magnetismo, como hemos visto es capaz de ejercer fuerzas entre dos dispositivos sin que haya contacto, eliminando así el problema del rozamiento.

Por ejemplo, en el caso de un engranaje, los dientes de la rueda motora empujan los de la otra para moverla, en cambio, si se enfrentan dos engranajes imantados en los cuales los dientes de ambos tienen la misma polaridad, al moverse el engranaje principal, consigue transmitir el movimiento al secundario ya que, aunque no lleguen a tocarse, los campos magnéticos que generan hace que se ejerza una fuerza sin que haya contacto, este caso, los dientes se repelen, haciendo así que el engranaje secundario siga el movimiento del principal.

Capítulo 3 – Estado del arte

3.1 – INTRODUCCIÓN

Antes de comenzar con el diseño del mecanismo, es importante conocer los productos que se encuentren comercializados y tengan el mismo objetivo.

Algunos picaportes convencionales utilizados en puertas de paso llevan incorporado un sistema de bloqueo adicional al resbalón que impide abrir las puertas con la manilla si se ha accionado el cerrojo. En base a este mecanismo, se pueden clasificar en dos tipos: con condena o unificados.

Por un lado, los picaportes con condena permiten bloquear las puertas mediante un perno que se encaja dentro del marco; en cambio, en los unificados, es el propio pestillo, perteneciente al resbalón, el que se queda bloqueado al accionar el cerrojo.

En cuanto a los picaportes magnéticos que se pueden encontrar en el mercado, se diferencian de los mecánicos en que el pestillo está imantado y oculto en la cerradura, de forma que, cuando la puerta está abierta, no hay elementos salientes en su frontal.

Al cerrar la puerta, el pestillo sale y se encaja en el marco. Esto se consigue colocando un imán en el cerradero con distinta polaridad que el pestillo, de esta manera, cuando ambos quedan enfrentados, se atraen y hacen que la puerta se mantenga cerrada. Para abrir la puerta, basta con accionar la manilla para que el pestillo no se vea afectado por el campo magnético que genera el imán y vuelva a retraerse. [14]

3.2 – ESTUDIO DE MERCADO

Las cerraduras son elementos muy utilizados, por lo que hay multitud de modelos y fabricantes diferentes; pero si se busca solo picaportes magnéticos, los principales fabricantes que las comercializan son tres: AYR, AGB y BONAITI.

Antes de ver los diseños que ofrecen cada uno de los fabricantes, se van a explicar las principales características que diferencian cada modelo.

Las características más importantes son las dimensiones. En la Figura 4, se muestra un modelo de cerradura en la que se han indicado las principales dimensiones.

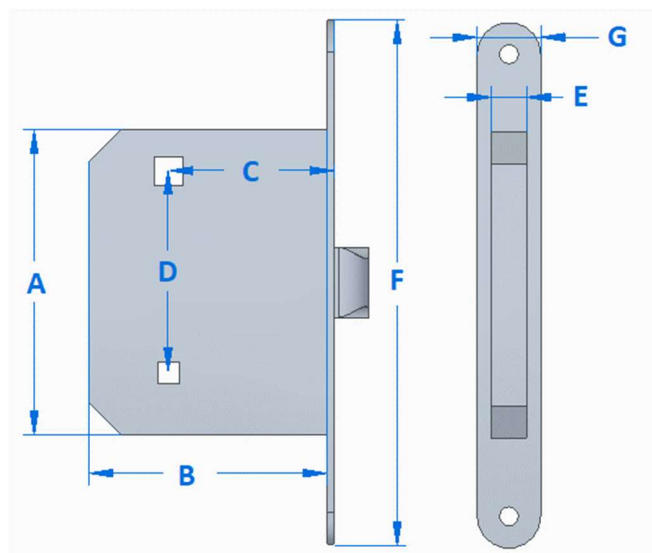


Figura 4. Dimensiones principales de un resbalón convencional

En la Tabla 1 se describe cada una de las cotas. [15]

MEDIDAS	DESCRIPCIÓN
A	Altura: tamaño del cuerpo de la cerradura en vertical.
B	Ancho: tamaño del cuerpo de la cerradura en horizontal.
C	Medida de entrada: distancia entre el borde de la puerta y el centro del eje de la manilla.
D	Distancia entre centros: medida entre los centros del eje de la manilla y el de la condena.
E	Grosor: distancia entre las placas de la cerradura.
F	Altura del frontal: tamaño de la pieza frontal en vertical.
G	Ancho del frontal: tamaño de la pieza frontal en horizontal.

Tabla 1. Descripción de las medidas de un resbalón convencional.

Las cerraduras con sistema de bloqueo tienen tres formas de accionar el bloqueo: condena; llave Borja y llave Yale.



Figura 5. Condena (izq.); Llave Borja (centro); Llave Yale (derch.)

Además, hay otras propiedades a tener en cuenta, como la forma y dimensiones del pestillo o el material con el que se han fabricado. A continuación, se van a mostrar las principales características de las series que han comercializado los distintos fabricantes.

3.2.1 – AYR

Una de las principales marcas que comercializa picaportes magnéticos es AYR (Accesorios y Resortes). Esta empresa española se creó en 1968 y fabricaba accesorios para juguetes; no fue hasta dos años después cuando empezó a fabricar herrajes. En 1994 fabricaron los primeros sistemas magnéticos que, dentro de su gama de productos actual, pertenecen a la serie “CIERRAMAGIC” y se pueden encontrar cuatro modelos distintos: 825-C; 826-C; 819 y 819B. [16] [17]

Los modelos 825-C y 826-C son cerraduras con condena y están fabricadas con zamak, una aleación de zinc con aluminio, magnesio y cobre. Mientras que los modelos 819 y 819B son unificados y están fabricados con hierro. Se diferencian entre ellos en la distancia entre centros (eje de la manilla y eje de la condena), las dimensiones de la cerradura y que en el modelo 826-C, el picaporte está colocado en la parte superior del frontal, haciendo coincidir el eje del pestillo con el de la manilla (Figura 6), mientras que en el resto se encuentra colocado en el centro. El bloqueo de la puerta se puede accionar instalando una condena o una llave de Borja en todos los modelos excepto en el 819B, que solo permite la llave Borja. [18] [19] [20] [21]



Figura 6. Cerraduras 825-C y 826-C

3.2.2 – AGB

Otra marca que vende este tipo de productos es AGB. Es una empresa italiana especializada en sistemas de herrajes desde hace más de setenta años. Las cerraduras magnéticas que tiene comercializadas se diferencian tres series: CENTRO FOCUS; POLARIS 2XT; REVOLUTION XT. [21]

Cada una de las series cuenta con tres modelos con características similares que se diferencian en que el sistema de bloqueo puede ser por condena, por llave Borja o por llave de Yale. Todos ellos tienen las mismas dimensiones estandarizadas, pero varía la distancia entre centros.



Figura 7. Cerraduras CENTRO FOCUS con llave Borja, POLARIS 2XT con condena, REVOLUTION XT con llave Yale

Los modelos de la serie CENTRO FOCUS son picaportes con condena, mientras que los de las series POLARIS 2XT y REVOLUTION XT son unificados.

La solución que ofrece esta marca es muy parecida a la de AYR, las principales diferencias son las dimensiones de las cerraduras y el material, ya que las series CENTRO FOCUS y POLARIS 2XT están hechas de acero, pero la serie REVOLUTION XT, al igual que las cerraduras de AYR están fabricadas en zamak. Además, la marca AGB, ofrece la posibilidad de bloquear la puerta mediante llave Yale. [23] [24] [25]

3.2.3 – BONAITI

Por último, la marca BONAITI, nació en 1830 en Italia, produciendo metal para crear distintos componentes; en 1936 comenzó a fabricar cerraduras, pero no fue hasta el año 2000, cuando la marca comenzó a producir cerraduras magnéticas.

Estas cerraduras funcionan a través de campos magnéticos generados por imanes permanentes y se crean con materiales distintos al hierro para lograr un funcionamiento más silencioso. La implementación del magnetismo mejora en gran medida la estética y la funcionalidad de sus productos. [26]

Esta marca es la que más productos tiene comercializados con sistema magnético, cuenta con once series de cerraduras magnéticas para puertas de paso: B-TWIN; B-FORTY; B-SMART; B-ONE; B-KLASS; B-FIVE; B-LATCH; B-EVO; B-FRANCE; B-ALEX y B NO-HA. Cada una tiene la posibilidad de bloquear la puerta mediante una condena, una llave Borja o una llave Yale. [27]

La serie B-ONE fue la primera cerradura magnética desarrollada por esta marca. La peculiaridad de este producto está en el pestillo, este es unificado y se encuentra en la parte baja del frontal, tiene un tamaño mucho mayor que los convencionales, además, en lugar de sobresalir de forma paralela al frontal, lo hace de forma giratoria (Figura 8). [28]



Figura 8. Cerradura B-ONE

Las series B-EVO y B-FRANCE (Figura 9) tienen un funcionamiento muy parecido, en ambas el pestillo se encuentra en el mismo eje que la manilla, la principal diferencia es que los modelos de B-FRANCE no son unificados y tienen las dimensiones estandarizadas de las cerraduras francesas. En cambio, la B-EVO es mucho más estrecha que una cerradura estándar. [29] [30]



Figura 9. Cerraduras B-EVO y B-FRANCE

Los modelos de las series B-SMART, B-FORTY y B-TWIN cuentan con las mismas medidas. Las diferencias entre estas series se encuentran en el pestillo: la serie B-TWIN tienen el pestillo con la misma forma que en la serie B-ONE solo que este es más pequeño y se encuentra en la parte superior del frontal de tal forma que queda en el mismo eje de la manilla; las otras dos series llevan el pestillo en el centro del frontal. En el caso de la B-SMART también cuenta con un cerrojo independiente, pero en vez de estar situado a parte del pestillo como en la mayoría de las cerraduras, ambos están posicionados en el centro de la placa frontal, como se puede ver en la Figura 10. [31] [32] [33]



Figura 10. Cerraduras B-SMART, B-FORTY y B-TWIN

La serie B-KLASS ofrece un total de cuatro modelos, dos de los cuales no son unificados, en uno de ellos, el perno que bloquea la puerta sobresale lo mismo que el pestillo, mientras que en el otro es el doble para conseguir mayor seguridad. Otro de los modelos es una cerradura unificada, ya que se puede bloquear el pestillo, estos tres modelos se bloquean mediante una llave.

El último modelo de esta serie no ofrece la posibilidad de bloquear la puerta, por tanto, al suprimir este mecanismo, se ha eliminado también la parte de la cerradura dónde se alojaba, por lo que tiene una altura menor que el resto, como se muestra en la Figura 11. Para cada modelo se pueden elegir entre cuatro dimensiones de fondo, en cuanto al frontal, en esta serie son más grandes que en el resto de los modelos, a excepción de la cerradura sin bloqueo. [34]



Figura 11. Modelos cerradura B-KLASS

Todas las cerraduras vistas hasta ahora se conocen como cerraduras de embutir, pero también existen las cerraduras brocales que son más compactas (Figura 12) ya que en el resbalón está en el mismo eje que la manilla y no tiene sistema de bloqueo. La serie B-LATCH es la versión magnética de este tipo de cerraduras. [35]



Figura 12. Cerradura B-LATCH

Para puertas más estrechas, normalmente de aluminio o acero, BONIATI ha desarrollado dos tipos de cerraduras. La serie B-FIVE, cuenta con una cerradura unificada cuyas dimensiones son menores que el resto de los productos de esta marca y se instala al igual que las convencionales, quedando embutida en la puerta. En cambio, en la serie B-ALEX es la puerta la que se embute en la cerradura.



Figura 13. Series B-FIVE y B-ALEX

La serie B-ALEX, que consiste en un tipo de cerradura unificada con el mismo diseño que la B-ONE, está diseñada para puertas de 8 a 10 mm de espesor lo que permite que sea la puerta la que queda encajada en la cerradura, que la rodea como se puede ver en la Figura 14.[36] [37]



Figura 14. Cerradura B-ALEX, insertada en una puerta.

Por último, la serie B NO-HA se caracteriza por reducir las partes móviles durante el cierre o la apertura de la puerta, esto es debido a un novedoso sistema que sustituye a la manilla y hace que el diseño del panel de la puerta quede completamente liso. [38]

El mecanismo del resbalón es igual al del resto de modelos: cuando la puerta está abierta el pestillo está oculto, y como no hay manilla no hay ningún elemento que sobresalga; cuando la puerta se cierra, el pestillo se encaja en el marco atraído por un imán.

Lo novedoso de este sistema está en el mecanismo para abrir la puerta, ya que la manilla convencional se reemplaza por un pequeño panel móvil integrado en el mismo plano de la puerta que, al empujarlo hacia dentro, acciona el mecanismo que comprime el pestillo y permite abrir la puerta, como se muestra en la Figura 15. [39]



Figura 15. Cerradura B NO-HA

Como se ha podido comprobar, las cerraduras magnéticas que hay hoy en día en el mercado integran todas el mismo principio de funcionamiento en cuanto al resbalón, las principales diferencias entre ellas se encuentran en otros elementos como el pestillo, las dimensiones o el bloqueo de las puertas.

Estas cerraduras suponen una ventaja ya que dan solución al problema que causa el pestillo cuando al cerrar una puerta se golpea contra el marco de la puerta. Al no tener elementos salientes cuando la puerta está abierta, se evita el ruido de los portazos y otros golpes o rozamientos que puede provocar el pestillo.

En cambio, tiene el inconveniente de que el mecanismo para abrir la puerta es el mismo que en las cerraduras mecánicas, y al salir el pestillo y encajarse en el cerradero, se tiene que accionar la manilla de forma que contraiga el pestillo, está acción se realiza mediante resortes, que se comprimen y producen ruido, por tanto, aunque se haya sustituido el pestillo convencional por uno magnético, el resto del mecanismo sigue siendo muy parecido al convencional.

En conclusión, con este tipo de aplicaciones se consigue una solución parcial del problema que se plantea en este proyecto. En primer lugar, se eliminan los ruidos de los portazos y el desgaste en el marco que estos producen al modificar el pestillo para que no sobresalga, consiguiendo así que la puerta se cierre sin apenas ruidos y se dañe menos el marco. En cambio, al abrir la puerta, el mecanismo que retrae el pestillo es el mismo que en el resbalón convencional y produce los mismos ruidos, además, esta parte del mecanismo sigue necesitando el mismo mantenimiento, debido al desgaste que sufren las piezas móviles en sus mecanismos. Por tanto, estos resbalones no sirven como aplicación para dar una solución completa al problema en el que se basa este TFG.

Capítulo 4 – Diseño mecánico

4.1 – INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se explicarán los diferentes modelos del resbalón que se han ido diseñando hasta conseguir la versión adecuada.

Dado que la aplicación futura es la de sustituir los resbalones convencionales ya instalados en las puertas por este diseño, se han tenido que ajustar las dimensiones a las de una puerta que se ha usado como modelo, con objeto de poder instalarlo en la misma y comprobar su funcionamiento.

Para ello, se ha estudiado el modelo y las dimensiones del resbalón que se va a sustituir y a partir de este se ha realizado un primer diseño. Desde esta primera versión, hasta el modelo definitivo se han realizado tres modificaciones. A continuación, se expondrá el modelo de referencia, el preliminar y el final.

4.2 – MODELO DE REFERENCIA

Una cerradura convencional consiste en una pieza rectangular dentro de la cual va instalado el mecanismo del resbalón. Esta pieza va ensamblada en el interior de la puerta, a excepción del pestillo, que es la parte del mecanismo que sobresale.



Figura 16. Resbalón convencional

Como se puede observar en la Figura 16, en la parte superior hay un agujero cuadrado donde se coloca el eje de la manilla, de esta forma se acopla el mecanismo de la manilla al del resbalón, para

que cuando se gira la manilla se retraiga el pestillo. En la parte inferior se puede observar otro hueco de las mismas características, pero un poco más pequeño, este sirve para colocar la condensa en caso de que se instalara un cerrojo en la puerta, pero como en este caso la puerta no se bloquea ese mecanismo no se utiliza.

Como ya se ha explicado en esta memoria, en la mayoría de los resbalones, el pestillo se puede cambiar de posición rotándolo entorno a su eje horizontal. Pero para que este quede fijo se instala un frente con un agujero por el que se introduce el pestillo y queda encajado, impidiendo que rote. Esta pieza hace a su vez de embellecedor, ya que es la parte visible de la cerradura. Esta pieza se mantiene unida al resto del resbalón mediante dos tornillos roscados.

Cuando la puerta está cerrada, el pestillo queda embebido en un hueco en el marco de la puerta, en torno al cual se instala otra pieza, llamada cerradero. Esta parte de la cerradura, además de fines estéticos también sirve para que el pestillo no choque directamente con la madera del marco, ya que podría dañarse.

Para ello, esta pieza cuenta con una pestaña redondeada que bordea la esquina del marco y así protege y ayuda a que el choque que se produce con el pestillo sea más suave. Además, esta pieza tiene una pestaña que se sitúa en el espacio dónde se encaja el pestillo e impide que se mueva cuando está alojado dentro.

Como ya se ha mencionado anteriormente, este resbalón se usará de referencia para obtener las dimensiones del hueco del que se dispone en la puerta para insertar el resbalón magnético. En la Figura 17, se tiene de forma detallada las dimensiones de las distintas piezas de las que se compone el resbalón.

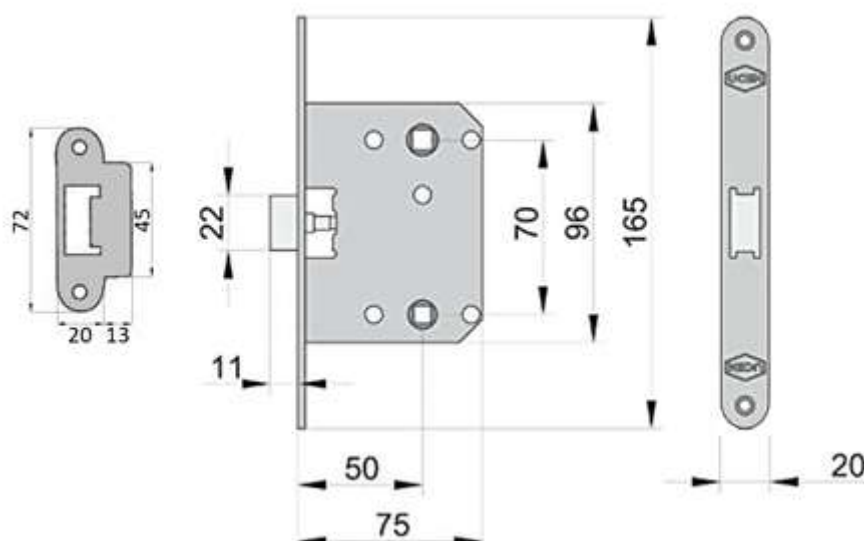


Figura 17. Dimensiones del resbalón convencional

Para sujetar las piezas a la puerta se usan dos tornillos para cada una de ellas. Estos tornillos son tirafondos para madera (Figura 18), es decir, acaban en punta y tres cuartas partes de la longitud de

la espiga es roscada para ayudar a que el tornillo se abra paso según se inserta sin necesidad de hacer un agujero previo.



Figura 18. Tornillo tirafondo M6

La cabeza de los tornillos es de métrica 6, con forma avellanada y de tipo Phillips, es decir, las ranuras para sujetar el destornillador son en forma de cruz. Los tornillos que se colocan en el marco tienen una longitud de espiga de 50 mm, mientras que los de la puerta son de 20 mm. [40]

4.3 – MODELO PRELIMINAR

Desde un principio se ha partido con la idea de diseñar un resbalón formado por dos piezas, una situada en el marco de la puerta y otra en el canto de la hoja, de forma que cuando la puerta esté cerrada, estas queden enfrentadas. Cada una de ellas, llevará una hilera de imanes para generar el campo magnético y mantener la puerta cerrada al estar en reposo.

Como ya se ha mencionado, este prototipo va a ser instalado en una puerta existente, por lo que se van a diseñar las piezas a partir de las que ya había en la cerradura del resbalón mecánico.

En la Figura 19 se puede ver el lugar que ocupaba la antigua pieza en la puerta. El objetivo principal de la nueva pieza será cubrir todo el hueco existente y utilizar el espacio donde se encajaba el pestillo para colocar los imanes.



Figura 19. Hueco en el marco de la puerta

La parte frontal de la pieza, atendiendo a la forma y dimensiones originales del cerradero, consiste en un rectángulo de 72 mm de alto, 20 mm de largo y 1 mm de ancho, cuyos vértices se han redondeado con un radio de 10 mm (Figura 20).

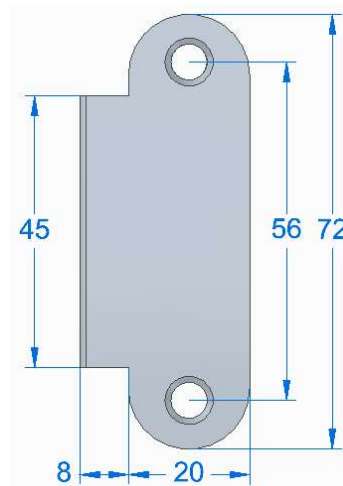


Figura 20. Modelo preliminar. Frontal de la pieza del marco

De la parte izquierda de la pieza sale una pestaña de 8 mm de largo y 45 mm de alto. Además, se ha redondeado el vértice de esta pestaña, como se puede ver en color naranja en la Figura 21. Esto se ha hecho para que no haya elementos que sobresalgan del plano del marco. Esta parte de la pieza no tiene ninguna función en este nuevo mecanismo, pero debido a que en el marco ya está hecho el hueco, se ha decidido añadir para cubrirlo, por lo que su finalidad es solo estética.

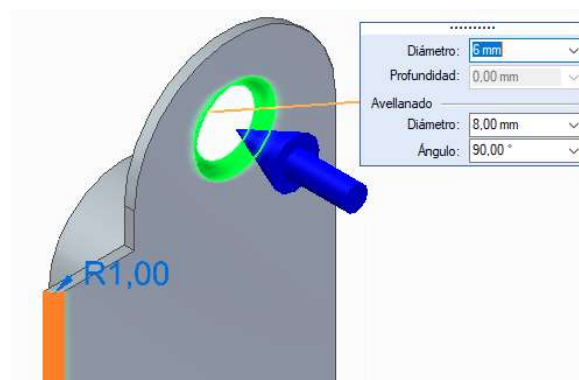


Figura 21. Modelo preliminar. Detalles de la pieza del marco

Para fijar la pieza al marco se van a utilizar los mismos tornillos de métrica 6 que iban instalados en un principio. Para ello, se han hecho dos agujeros avellanados con 8 mm de diámetro exterior y 6 mm de diámetro interior, como se muestra en color verde en la Figura 21. La distancia entre los centros de ambos agujeros es de 56 mm (Figura 20).

En cuanto a la parte trasera de la pieza, consiste en una extrusión de 10 mm. La forma es igual a la del frontal, pero en este caso mide 40 mm de alto, 15 mm de largo y abarca todo el hueco del que se dispone en el marco, en esa zona es dónde se instalará la hilera de imanes. Esta parte se coloca centrada en el eje horizontal de la pieza (Figura 22).

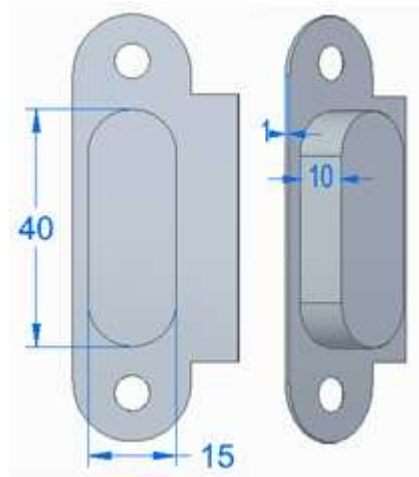


Figura 22. Modelo preliminar. Parte trasera de la pieza del marco

Para diseñar la pieza la otra parte del resbalón magnético se ha seguido el mismo procedimiento. En la Figura 23 se puede ver el hueco de la puerta dónde se va a instalar.



Figura 23. Hueco en la puerta

Al igual que en el caso anterior, el frontal de la pieza tiene que cubrir todo el espacio que queda en la puerta. Por tanto, la forma de dicho frontal es rectangular, con las partes superior e inferior redondeadas. Las dimensiones son 165 mm de alto, 20 mm de largo y 2 mm de ancho (Figura 24).

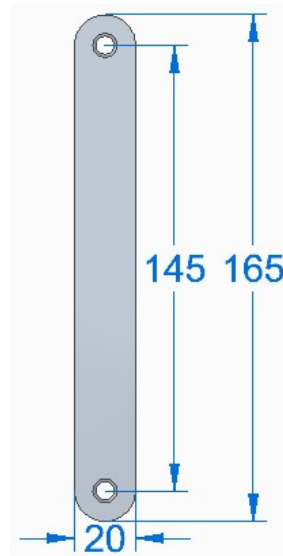


Figura 24. Modelo preliminar. Frontal de la pieza de la puerta

Para anclar esta pieza a la puerta, también se van a reutilizar los tornillos del resbalón original que, como ya se mencionó, son de métrica 6. Para poder colocarlos se han hecho dos agujeros de las mismas características que los de la pieza anterior (avellanados de 6 mm de diámetro interior y 8 mm de diámetro exterior) ya que la cabeza de los tornillos tiene la misma forma. En este caso, los agujeros están centrados en el eje vertical de la pieza y la separación entre ambos es de 145 mm.

En cuanto a la parte posterior de la pieza, inicialmente se ha diseñado siguiendo la misma forma y dimensiones que la del resbalón mecánico. Por tanto, es una pieza rectangular, cuyos lados miden 96x75 mm y el ancho 11 mm. En los dos vértices de la pieza que no van unidos al frontal se ha hecho un chaflán a 45° con repliegues iguales de 10 mm.

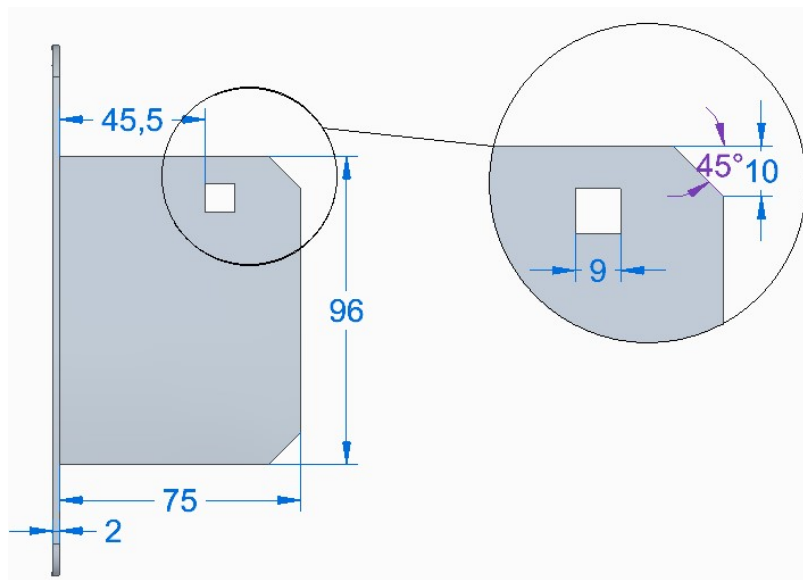


Figura 25. Modelo preliminar. Parte posterior de la pieza de la puerta

Como se puede ver en la Figura 25, esta parte de la pieza es sólida, a excepción de un agujero cuadrado de 9 mm de lado situado dónde el eje de las manillas atraviesa la puerta, este hueco se ha

hecho cuadrado, al igual que el eje, para que lo rodee y no permita que las manillas se muevan ni giren, ya que no será necesario. Una vez esté la pieza instalada en la puerta, las manillas servirán únicamente de tiradores para ayudar a vencer la fuerza del campo magnético de los imanes.

El resultado final de este diseño es un modelo muy similar al del resbalón convencional, como era el principal objetivo, de esta manera se asegura que las nuevas piezas van a encajar en la puerta.

En el caso del resbalón convencional, la pieza que va embutida en la puerta lleva todo el mecanismo en su interior, pero en el caso del resbalón magnético, esta pieza únicamente tiene que albergar los imanes necesarios para mantenerla cerrada. Por ese motivo, se ha modificado el diseño de esa parte de la pieza, ya que en el modelo anterior se utiliza mucho material innecesario.

Para reducir el tamaño de la pieza se ha modificado la parte trasera y únicamente se ha dejado el espacio dentro del cual se van a instalar los imanes, y la parte que sujeta el eje de las manillas. Por tanto, se han mantenido 25 mm de la parte superior de la pieza, pero se ha reducido el largo en 10 mm, quedando con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 26.

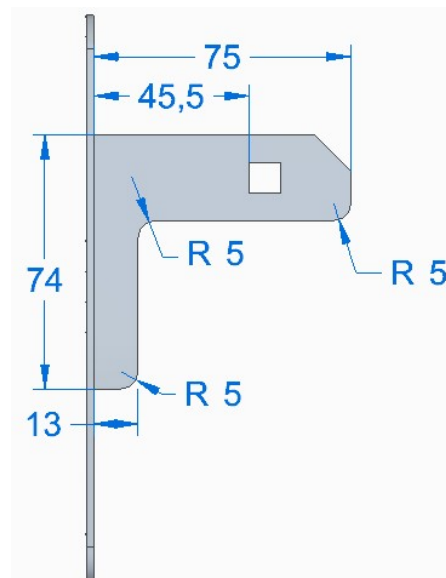


Figura 26. Modelo preliminar. Parte posterior de la pieza de la puerta modificada

En cuando a la zona de los imanes, se ha reducido la altura de la pieza de 96 mm que media inicialmente a 74 mm y el largo de 75 mm a 13 mm. Además, se han redondeado todas las esquinas de la pieza con un radio de 5 mm.

4.4 – MODELO DEFINITIVO

La versión definitiva del resbalón magnético consiste en dos piezas que, enfrentadas entre sí, mantienen la puerta cerrada, es decir, una de ellas se colocará en el marco y la otra en la puerta, al igual que en los modelos preliminares. Las modificaciones que se han realizado para llegar a esta versión final se irán detallando a continuación.

La pieza del marco de la puerta no ha sido necesario modificarla, ya que encaja en el marco de la puerta y cumple las especificaciones necesarias.

En cuanto a la pieza que se encaja en la puerta, la parte del frontal tampoco ha sido necesario hacer ninguna modificación, ya que las medidas han coincidido bien con el hueco, incluyendo los agujeros para colocar los tornillos.

En la parte posterior de dicha pieza, se ha reducido más el tamaño. Se ha eliminado la parte que sujeta el eje de la manilla, dejando solo el espacio para alojar los imanes, por lo que se reduce aún más el tamaño respecto al modelo anterior.

Como se muestra en la Figura 27, la parte posterior de la pieza es un ortoedro de 40 mm de altura, 11 mm de largo y 15 mm de ancho.

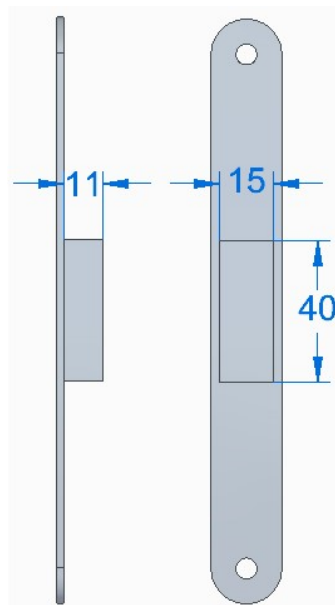


Figura 27. Modelo definitivo. Parte trasera de la pieza de la puerta

Esta modificación se ha hecho porque las manillas se quedan fijadas en la puerta mediante tres tornillos cada una, por tanto, no es necesario que la pieza haga de sujeción. La diferencia es que, de esta forma, las manillas se pueden seguir girando, ya que el eje no está sujeto.

Como se muestra en la Figura 27, las manillas se componen de una parte fija, llamada roseta, mediante la cual se fijan a la puerta, y una parte móvil. Esta última tiene un eje que atraviesa la roseta y es perpendicular a la manilla.



Figura 28. Partes de una manilla

En el interior de la roseta, rodeando al eje hay una pieza con una pestaña que gira a la vez que la manilla. Cuando esta está en reposo, dicha pestaña tiene un tope que hace que la manilla solo pueda girar en una dirección, como se ve en la Figura 29.



Figura 29. Interior de la roseta

Con el nuevo diseño la manilla se pueda girar. Esto no supone ningún problema, ya que sirven igual como tiradores, que es su única función. Pero si se quiere impedir ese movimiento bastaría con pegar la pestaña y el tope haciendo que la manilla no se pueda mover de su posición de reposo.

La parte del diseño que se ha hecho hasta ahora abarca únicamente la estructura de las piezas, pero para el correcto funcionamiento del resbalón es muy importante la ubicación de los imanes.

4.4.1 – POSICIÓN DE LOS IMANES

En un principio, se partió con la idea de colocar los imanes en ambas piezas del resbalón de tal forma que, los polos que quedan enfrentados fuesen de la misma polaridad, y que cuando la puerta está cerrada quedasen en la posición que se muestra en la Figura 30.

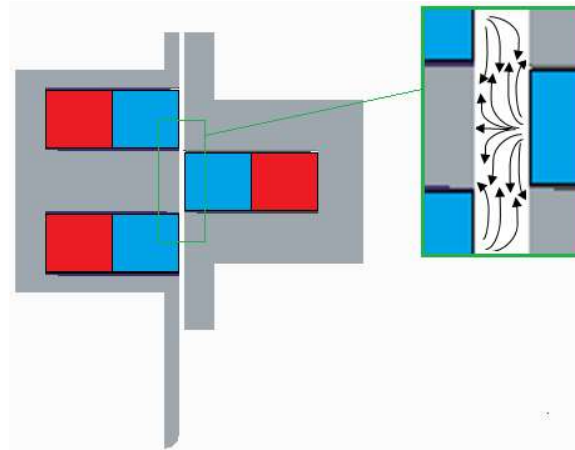


Figura 30. Posición de los imanes con la misma polaridad.

Como ya se ha comentado, los polos iguales de los imanes se repelen, por tanto, cuando la puerta está cerrada, las fuerzas magnéticas que generan cada uno de los imanes hacen que esta se mantenga en esa posición.

Esto se consigue gracias a que las dos hileras de imanes situadas en el marco repelen la hilera de la puerta, empujando cada una a la puerta hacia sentidos contrarios. Como ambas hileras tienen el mismo número de imanes y con las mismas características, las fuerzas que ejercen cada una de ellas sobre los imanes de la puerta tienen la misma magnitud, pero sentidos contrarios.

Con este sistema de fuerzas, la puerta se ve empujada hacia cada lado por fuerzas de la misma magnitud, por lo que ninguna es capaz de vencer a la otra y el sistema queda en equilibrio, es decir, la puerta no se mueve de su posición, quedando centrada entre las dos hileras del marco.

Para abrir la puerta solo es necesario empujarla, venciendo la fuerza de repulsión de los imanes, al igual que para volver a cerrarla.

Los imanes de los que se dispone son cilíndricos de 7 mm de diámetro y 9 mm de altura. Como se ha visto en el diseño de las piezas, el hueco en el marco donde se alojan los imanes mide 15 mm, por tanto, estos imanes no caben en la posición que se ha descrito. El diámetro máximo que deberían tener los imanes para poder implementar esta solución es de 4 mm, de esta forma, los agujeros de la pieza para los dos imanes y el espacio entre ambos ocupan 13,5 mm (el hueco para encajar los imanes es de 4,5 mm, de esta forma se deja una holgura para que no haya problemas a la hora de que el imán encaje con el pegamento necesario para fijarlo) y se podrían colocar hileras de hasta 7 imanes, como se muestra en la Figura 31.

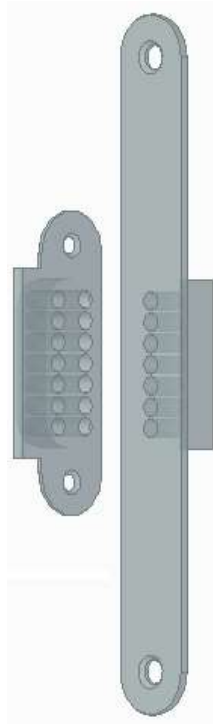


Figura 31. Modelo completo preliminar

Para poder usar los imanes de los que se disponen, se ha diseñado otra alternativa.

En el nuevo diseño, los imanes se colocan en ambas piezas en hileras verticales, y en este caso, los polos que quedan enfrentados al cerrar la puerta son de distinta polaridad, como se muestra en la Figura 32.

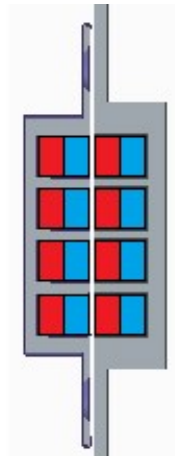


Figura 32. Posición de los imanes con distinta polaridad

De esta manera, los imanes de ambas piezas se atraen entre sí, haciendo que la puerta se mantenga cerrada. Al igual que en el caso anterior, para abrirla únicamente es necesario vencer dichas fuerzas de atracción, moviendo la puerta hasta que los imanes colocados en la puerta dejan de estar bajo la influencia del campo magnético que generan los imanes colocados en el marco. Para cerrar la puerta, al contrario que para abrirla, basta con acercar los imanes hasta que actúen las fuerzas magnéticas de ambas hileras de imanes.

Esta forma de colocar los imanes presenta ciertas desventajas frente a la anterior, ya que, en primer lugar, sería difícil mantener la puerta entornada, ya que una vez que se acerca la puerta al marco, los imanes son atraídos y esta termina por cerrarse sola, lo que puede hacer que la puerta choque con el marco. Además, cuando los imanes están enfrentados no llegan a estar en contacto para evitar rozamientos, pero las fuerzas de atracción hacen que constantemente estén tirando unos de otros para intentar juntarse, eso a la larga puede desgastar el pegamento que los fija y dar problemas en el resbalón.

Aunque con este diseño se elimina el ruido del resbalón, el de los portazos podría llegar a incrementarse y sería necesario un cierto mantenimiento, por lo que no se considera una buena solución y se ha buscado una alternativa basada en el principio de funcionamiento del primer diseño, ya que el problema de esa aplicación es, únicamente, que no se dispone del espacio suficiente para instalar los imanes necesarios.

Como se ha comentado anteriormente, los imanes que se instalan en el marco repelen, uno por cada lado, al imán de la puerta, haciendo que esta no se mueva ni hacia fuera, ni hacia dentro. Pero la mayoría de las puertas de paso, se instalan con bisagras de simple acción, eso quiere decir que únicamente permiten que la puerta se gire hacia un lado, en el caso de la puerta que se usa de modelo, esta solo se abre hacia dentro. Además, el marco tiene un saliente perpendicular que hace de tope para la puerta; este elemento es el causante de la mayoría de los ruidos que se produce al cerrar la puerta, ya que choca con ella. La hilera de imanes del exterior hacía que la puerta quedase en reposo sin llegar a chocar con el marco, evitando este ruido, pero si se elimina esa parte del diseño, se soluciona el problema del espacio. En este caso, el diseño quedaría como se muestra en la Figura 33.

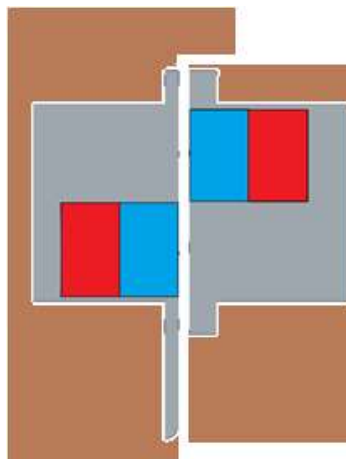


Figura 33. Posición definitiva de los imanes

Es decir, cuando la puerta se cierra y se supera la fuerza de repulsión del primer imán del marco, y la puerta queda en la posición de cerrada, son las bisagras y el marco los que impiden que la puerta se abra hacia el otro lado y solo es necesario el imán que impide que se abra hacia dentro.

Para solucionar el problema del ruido que hace la puerta cuando se cierra y choca con el marco se ha instalado fieltro con adhesivo en la parte del marco problemática que se ha mencionado

anteriormente, de esta manera la puerta choca directamente con el fieltro y este contacto no produce ruido.

Por tanto, el diseño definitivo de ambas piezas, incluyendo el hueco dónde se alojarán los imanes es el que se muestra en la Figura 34. Los planos se adjuntan en los anexos del proyecto.

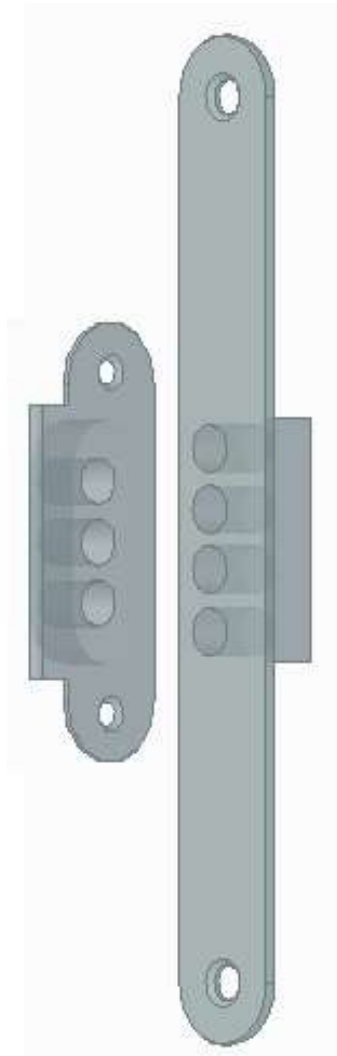


Figura 34. Modelo definitivo

Capítulo 5 – Simulación de las fuerzas magnéticas

5.1 – INTRODUCCIÓN

En este capítulo se van a estudiar las fuerzas que ejercen los imanes y por tanto el esfuerzo necesario para abrir la puerta.

Para ello, con ayuda del programa ANSYS Electromagnetics, se ha creado una simulación en 3D. Se han representado los imanes como quedarían colocados en la puerta, y se les ha asignado su material con las características magnéticas; de esta forma, el programa es capaz de calcular la fuerza que ejerce cada imán en la dirección de cada eje de coordenadas.

Debido a que entre la puerta y el marco hay una separación de aproximadamente 2 mm, se han hecho distintas simulaciones en las que las hileras de imanes se han ido aproximando, aumentando así la fuerza generada por cada imán.

5.2 – GENERACIÓN DEL MODELO EN 3D

Para poder realizar la simulación de las fuerzas que permiten el funcionamiento del resbalón es necesario, en primer lugar, representar los imanes con la misma separación entre ellos que en el modelo real, ya que la distancia influye en la magnitud de las fuerzas magnéticas.

Por ello, se han representado como se muestran en la Figura 35. En ambas hileras, la separación entre los centros de los imanes es de 10 mm a lo largo del eje Z; estas están separadas una distancia de 5 mm, a lo largo del eje Y, cuando la puerta está cerrada. Por último, la separación a lo largo del eje X representa el espacio entre los imanes de la puerta y los del marco, esta distancia se ha modificado en tres simulaciones distintas, tomando los valores de 2 mm, 1mm y 0,5 mm en cada una de ellas.

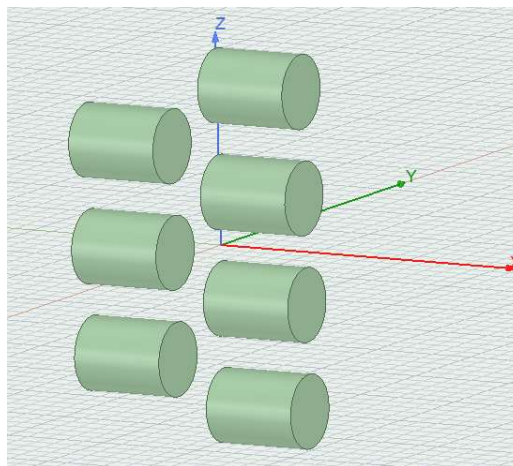


Figura 35. Posición de los imanes en simulación

Una vez se han creado los imanes, hay que asignarles un material con sus propiedades magnéticas, en este caso, los imanes son de neodimio con calidad N40, esto quiere decir que tiene una remanencia de 1,26 T y coercitividad magnética de 10,5 kOe. Además, la dirección del campo magnético se define a lo largo del eje X para los imanes situados en la puerta y en la misma dirección, pero en sentido opuesto para los imanes del marco para que queden los polos iguales enfrentados. Con esos datos, el programa tiene la información necesaria para simular el campo magnético que genera cada imán y las fuerzas producidas por la interacción entre ellos. [41]

Por último, se crea un sistema de coordenadas a 725 mm de distancia respecto al eje X., de esta forma se puede simular el movimiento de la puerta al abrirse. A los cilindros que representa los imanes se les indica que roten respecto al eje Z de este nuevo sistema de coordenadas y en el valor del ángulo de rotación se asigna una variable local llamada 'angle' y se le asigna un valor inicial de 0°. Para que al moverse los imanes en la simulación las propiedades magnéticas también lo hagan, se crea un sistema de coordenadas relativo a cada imán.

5.3 – EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS

Como ya hemos mencionado, el objetivo de esta simulación es calcular las fuerzas magnéticas que actúan en el resbalón y es necesario vencer para abrir la puerta. Para ello, se selecciona cada uno de los imanes y se le asigna el parámetro 'Force'. La fuerza que actúa sobre cada imán se calculará durante el proceso de simulación.

Para generar una solución, se asigna un número máximo de pasos y un porcentaje de error máximo; en este caso se han seleccionado 15 pasos y 1% de error. En este caso, ha bastado con 9 iteraciones para llegar a una solución adecuada, es decir, con menos del 1% de error (Figura 36).

Pass	# Tetrahedra	Total Energy (J)	Energy Error (%)	Delta Energy (%)
1	5018	0.5052	33.271	N/A
2	6530	0.52792	18.669	4.4959
3	8497	0.54882	11.782	3.9603
4	11058	0.55897	5.8511	1.8493
5	14385	0.56624	3.6598	1.2998
6	18703	0.57013	2.5271	0.6864
7	24318	0.57267	1.583	0.44631
8	31622	0.57427	1.1078	0.27876
9	41114	0.57556	0.709	0.22556

Figura 36. Convergencia de los resultados de simulación

Cuando termina la simulación, el programa devuelve valor de la fuerza que actúa en cada imán, indicando la magnitud y el sentido en cada uno de los ejes, así como el módulo. Como al abrir la puerta se tira de la manilla, aplicando una fuerza en la dirección del eje Y es este valor de cada fuerza el que hay que vencer. En la Tabla 2 se muestran los valores obtenidos de la fuerza en Newtons, en este ejemplo, la separación entre las hileras es de 2 mm.

	FORCE1	FORCE2	FORCE3	FORCE4	FORCE5	FORCE6	FORCE7
F(X)	-0.070087	0.14095	0.15051	-0.078222	0.1061	-0.024388	0.1073
F(Y)	1.5019	2.9614	2.9596	1.4847	-2.9597	-2.97487	-2.9452
F(Z)	3.9121	0.27153	-0.28787	-3.9082	-2.4014	-0.000707	2.394
MAG(F)	4.1911	2.9771	2.9774	4.1814	3.8128	2.9748	3.797

Tabla 2. Fuerzas que actúan sobre cada imán

De esta forma se obtiene un único valor para cada fuerza, ya que se deja fijo el valor de la variable 'angle', es decir, calcula el valor de las fuerzas que actúan en cada imán solo cuando la puerta está cerrada.

Para comprobar que los imanes generan su campo magnético, se representan las líneas de campo, como se muestra en la Figura 37.

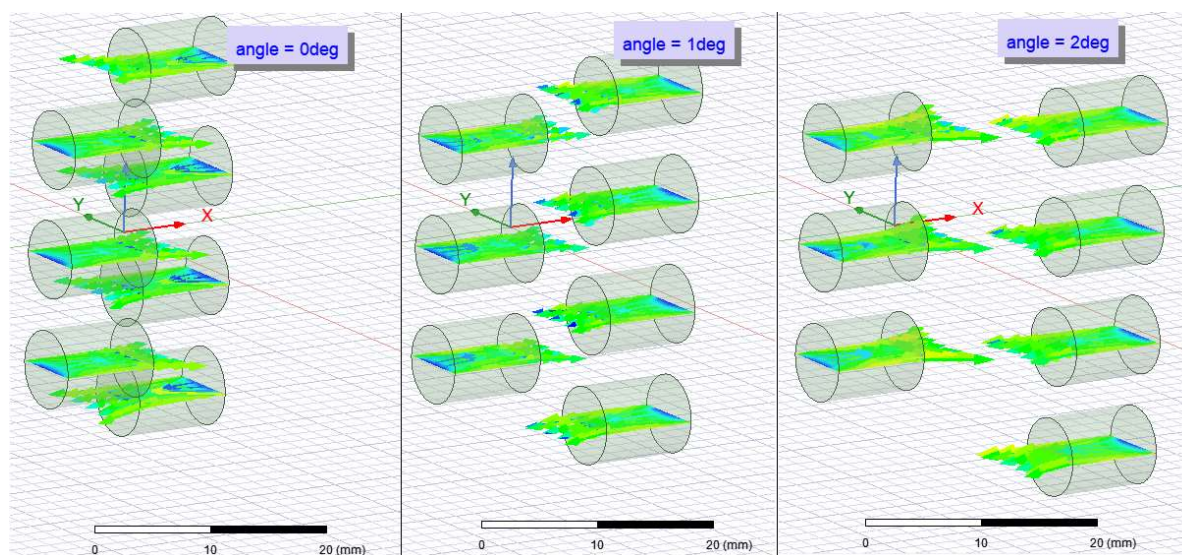


Figura 37. Simulación de las líneas del campo magnético

De ahora en adelante, se va a nombrar a cada imán y a la fuerza que actúa sobre cada uno de ellos como se muestra en la Figura 38. Además del nombre de cada imán y de su fuerza correspondiente, se ve la dirección y sentido de cada una a lo largo del eje Y, ya que, como se ha mencionado anteriormente, es la que influye en la apertura y el cierre de la puerta.

El conjunto de imanes que van colocados en la puerta se les va a llamar hilera 1, mientras que a los del marco se les va a referir como hilera 2.

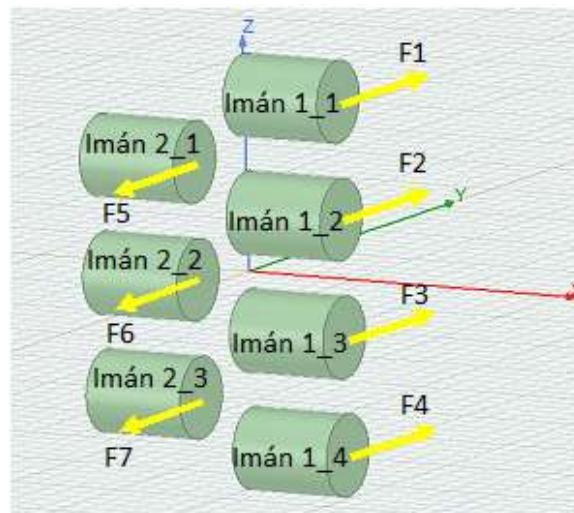


Figura 38. Fuerzas magnéticas aplicadas en cada imán

Para hacer una simulación paramétrica se configura en primer lugar la variable, en este caso, 'angle', que va a tomar valores de 0° a 5° en pasos de 1° . Además, se seleccionan los parámetros que se quieren calcular; como ya se ha visto, la fuerza que se necesita calcular es la que actúa en cada imán a lo largo del eje Y. A continuación, se van a ir detallando los resultados obtenidos en este tipo de simulación para los tres valores mencionados de separación entre hileras.

5.2.1 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 2 MM

Para analizar los resultados obtenidos en la simulación se ha representado la evolución de cada fuerza en función del valor de la variable 'angle', o lo que es lo mismo, en función de lo que se abre la puerta. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 39.

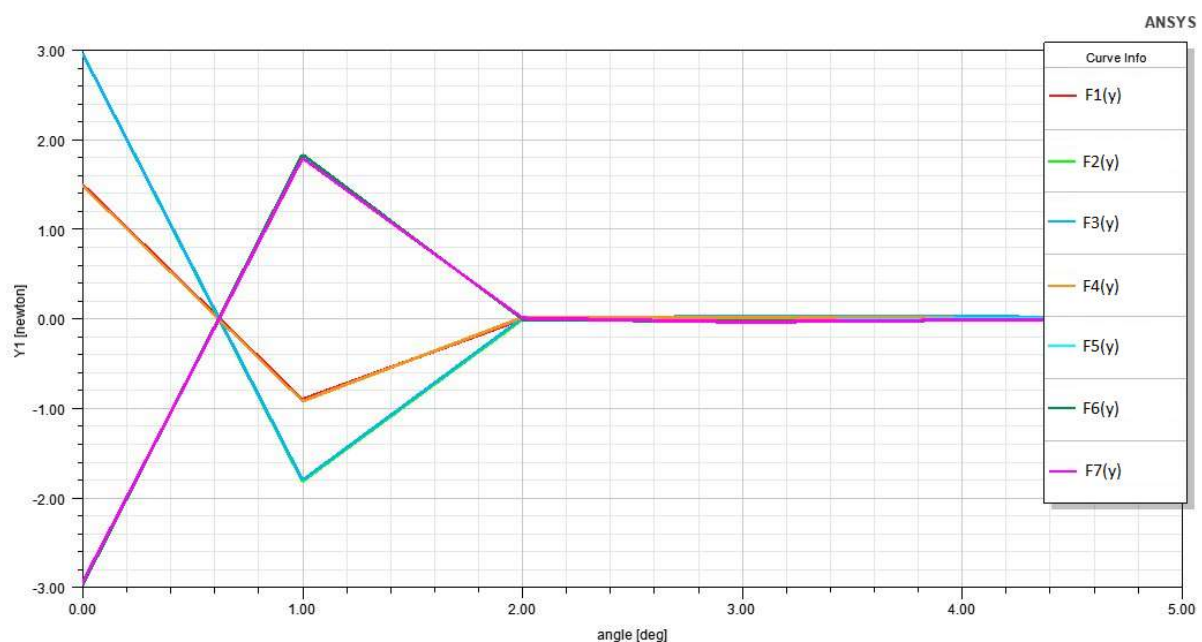


Figura 39. Resultados de la simulación con 2 mm de separación

En la representación de las siete fuerzas que actúan en el sistema solo aparecen tres curvas distintas, eso se debe a que hay fuerzas que en todo momento toman el mismo valor. Las fuerzas F5, F6 y F7 tienen la misma magnitud y sentido en todo momento, y sentido contrario a las fuerzas F2 y F3. Mientras que las fuerzas F1 y F4 toman valores más pequeños.

En las tres curvas de la Figura 39, se observa que todas varían de la misma forma. Cuando la puerta está cerrada ($\text{angle} = 0$) los imanes de ambas hileras se encuentran muy próximos y sin la posibilidad de alejarse, por lo que es cuando mayor efecto ejercen los imanes entre ellos.

Al ir abriendo la puerta, cuando la variable angle toma un valor aproximado de $0,6^\circ$ todas las fuerzas se anulan, esto se debe a que en esta posición es cuando ambas hileras están completamente enfrentadas, de forma que toda la fuerza de repulsión que ejercen los imanes al tener la misma polaridad se concentra a lo largo del eje X.

A partir de este momento, el sentido de todas las fuerzas se invierte, las fuerzas de los imanes de la hilera 1 pasan de tener valores positivos a tomar valores negativos, al contrario que la hilera 2. Esto pasa porque con la puerta cerrada, los imanes se repelían de tal forma que empujaban a la puerta contra el tope del marco para mantenerla cerrada, pero al abrir la puerta, se vence esa fuerza y la hilera 1 pasa a situarse al otro lado del marco lo que hace que las fuerzas se inviertan y empujen a la puerta hacía fuera, ayudando a que se abra.

Cuando la puerta se ha movido 1° es cuando las fuerzas inversas toman sus valores más altos, y a partir de eso momento todas las fuerzas se van decrementando en magnitud, hasta que a los 2° , las hileras están lo suficientemente alejadas para no influirse entre ellas, por lo que las fuerzas se anulan.

En la Tabla 3 se muestran los valores que ha tomado cada fuerza para los valores del ángulo estudiados.

	F1(Y)	F2(Y)	F3(Y)	F4(Y)	F5(Y)	F6(Y)	F7(Y)
0°	1.50	2.96	2.96	1.48	-2.96	-2.97	-2.95
1°	-0.90	-1.81	-1.80	-0.92	1.80	1.83	1.79
2°	-0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	-0.01	0.01

Tabla 3. Valores de las fuerzas magnéticas para una separación de 2 mm

A la vista de los resultados numéricos, se observa, como ya se había mencionado anteriormente, que en los imanes 1_2 y 1_3 se aplica aproximadamente el doble de fuerza que en los imanes 1_1 y 1_4, esto se debe a que los imanes situados en los extremos de la hilera 1 solo les afecta el campo magnético de un imán, es decir, el imán 1_1 solo es repelido por el imán 2_1, ya que queda fuera del alcance del campo magnético de los imanes 2_2 y 2_3.

Los imanes que se sitúan en el centro, al igual que los de la hilera 2, están bajo el efecto del campo magnético de dos imanes. En la Tabla 4 se muestra que imanes se repelen entre sí. Por tanto, con una separación entre hileras de 2 mm, la fuerza a vencer para abrir la puerta sería de 2,97 N.

	IMÁN 1_1	IMÁN 1_2	IMÁN 1_3	IMÁN 1_4
IMÁN 2_1				
IMÁN 2_2				
IMÁN 2_3				

Tabla 4. Representación de los imanes que interactúan entre sí

5.2.2 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 1 MM

Al igual que es el caso anterior, se ha representado la evolución de cada fuerza en función del valor de la variable 'angle' (Figura 40).

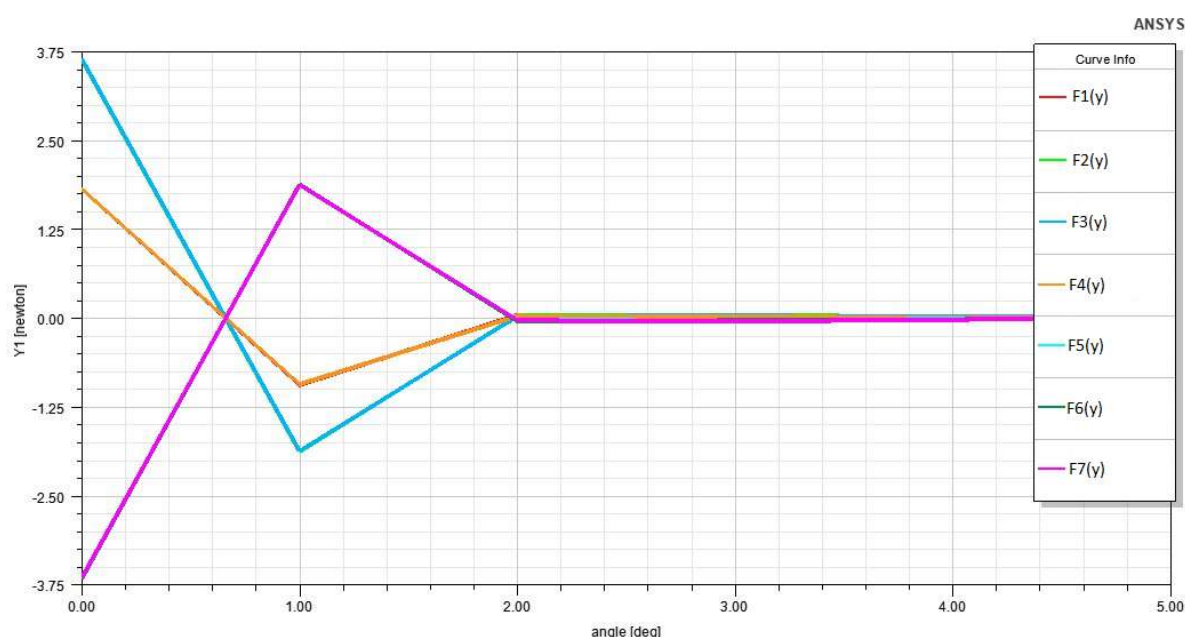


Figura 40. Resultados de la simulación con 1 mm de separación

En este caso, las fuerzas varían igual que con una separación mayor, ya que eso depende de la posición que toman los imanes en el eje Y, y solo se ha modificado la separación en el eje X. Por tanto, se siguen observando tres curvas distintas que siguen la misma evolución que se ha descrito en el caso anterior.

En cambio, al acercar las hileras de imanes, estos se ven afectados por un campo magnético mayor, por lo que las fuerzas que actúan en los imanes también aumentan en magnitud. Los valores que toman en esta nueva disposición son los de la Tabla 5. En este caso, la fuerza necesaria para abrir la puerta sería de 3,65 N.

	F1(Y)	F2(Y)	F3(Y)	F4(Y)	F5(Y)	F6(Y)	F7(Y)
0º	1,82	3,64	3,65	1,82	-3,67	-3,67	-3,65
1º	-0,94	-1,88	-1,86	-0,93	1,87	1,88	1,87
2º	0,05	0,04	0,03	0,03	-0,02	-0,05	-0,03

Tabla 5. Valores de las fuerzas magnéticas para una separación de 1 mm

5.2.3 – SIMULACIÓN PARA UNA SEPARACIÓN DE 0,5 MM

Por último, se realiza el mismo análisis para una separación entre hileras de 0,5 mm y se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 41.

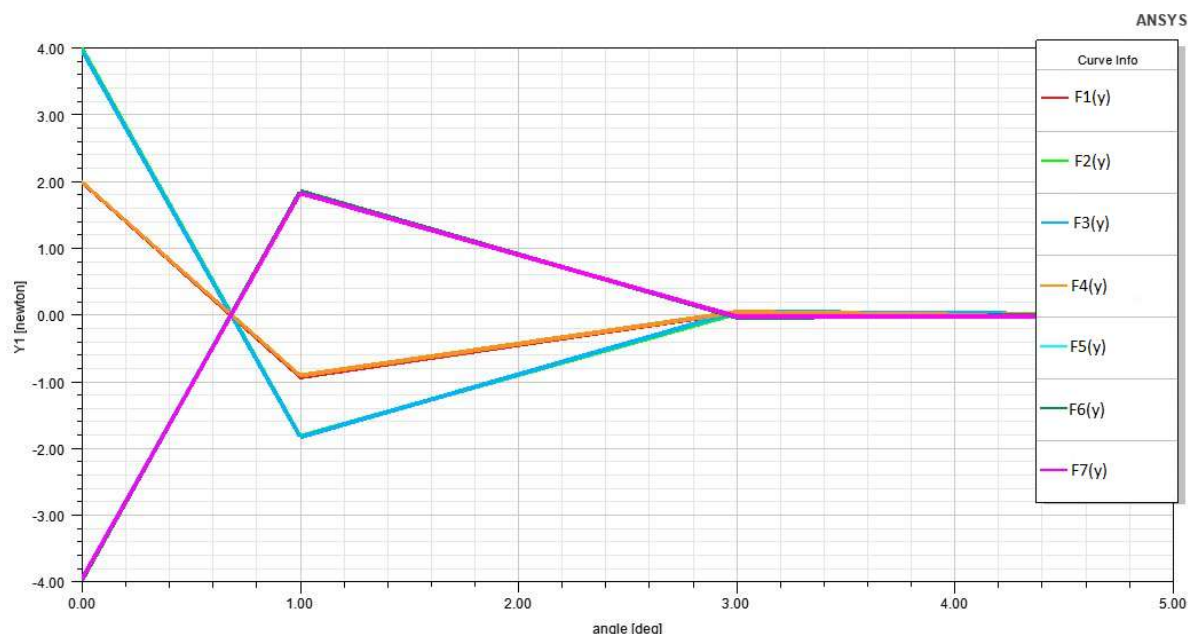


Figura 41. Resultados de la simulación con 0,5 mm de separación

En este caso, al igual que en los anteriores se diferencian tres curvas distintas en la representación de la variación de las fuerzas magnéticas en cada imán, pero al estar las hileras más próximas entre ellas, la influencia de los campos magnéticos es mayor, lo que también hace que la interacción entre ellos dure hasta que la puerta se abre 3º, mientras que, con más separación, solo se aprecian fuerzas en los imanes hasta los 2º.

Otra consecuencia de haber acercado las hileras de imanes es la misma que en caso anterior, la magnitud de las fuerzas ha aumentado según se muestra en la Tabla 6. Por tanto, la fuerza necesaria para abrir la puerta con esta separación es de 3,99 N.

	F1(Y)	F2(Y)	F3(Y)	F4(Y)	F5(Y)	F6(Y)	F7(Y)
0º	1,98	3,99	3,96	1,99	-3,95	-3,98	-3,96
1º	-0,93	-1,82	-1,83	-0,91	1,84	1,85	1,82
3º	0,03	0,02	0,05	0,04	-0,04	-0,04	-0,03

Tabla 6. Valores de las fuerzas magnéticas para una separación de 0,5 mm

Si se compara la fuerza máxima para cada separación (Tabla 7) se observa que aumenta según disminuye la separación entre los imanes, estos resultados coinciden con lo esperado teóricamente.

	2 MM	1 MM	0,5 MM
F(Y) MÁX	2,97 N	3,67 N	3,99 N

Tabla 7. Valores de las fuerzas magnéticas máximas

Capítulo 6 – Fabricación y montaje

6.1 – IMPRESIÓN EN 3D

Una vez se ha diseñado el modelo final que se describe en el Capítulo 4, este se ha fabricado mediante una impresora 3D, por lo que el material empleado ha sido plástico. Como las piezas fabricadas no están sometidas a grandes fuerzas ni a condiciones extremas no ha sido necesario emplear material muy resistente ni con características específicas.

El principal problema que se ha presentado a la hora de fabricar el resbalón con este método es la impresión del hueco para los imanes. Las impresoras 3D utilizan un proceso aditivo para crear los objetos, esto quiere decir que van creando capas sucesivas que se apoyan en la anterior y de esta forma quedan integradas. A la hora de crear la capa que contiene los agujeros, la impresora necesita verter algo de material para seguir teniendo una guía, por lo que una vez se han impreso las figuras, los agujeros quedan como se muestra en la Figura 42.



Figura 42. Huecos de la pieza impresa en 3D

Como ya se ha explicado, los huecos para los imanes están rellenos de material, pero este está menos compacto que en el resto de la pieza, lo que permite retirarlo con facilidad.

En un principio se habían diseñado las piezas con huecos de 7,2 mm de diámetro para introducir los imanes. Esta ha sido la primera versión que se ha fabricado, pero, debido al método de impresión que se ha explicado, la precisión que ha tenido la impresora al dejar los huecos no ha sido buena, ya que estos miden 7 mm, por lo que los imanes no se podían introducir.

A pesar de este inconveniente, se han aprovechado las piezas para comprobar que ese diseño encajaba bien en la puerta y en el marco. Además, al estar fabricadas con plástico, se ha podido limar los bordes de los huecos de los imanes, haciendo así posible introducir los imanes y hacer una primera prueba del comportamiento completo del resbalón.

Con este primer modelo instalado se ha comprobado que, tal y como se había previsto, el único ruido que realiza la puerta es al cerrarse y chocar con el tope del marco y que el resto de funcionamiento es correcto, aun así, se ha impreso otra versión.

Para que la instalación de los imanes en las piezas sea más sencilla, se ha impreso una segunda versión en la que la única modificación ha sido aumentar el tamaño de los huecos para los imanes a 8 mm. Esta versión del resbalón es la que se ha instalado finalmente.

6.2 – INSTALACIÓN DE LA PIEZA

Una vez se ha impreso el modelo definitivo se instala en la puerta, para ello, en primer lugar, hay que limpiar las piezas del material restante de la impresión, entre el que se encuentra los huecos para los imanes.

Para limpiar los huecos de los imanes se utiliza una gubia como lo que se muestra en la Figura 43, mientras que el resto de material se quita fácilmente, únicamente es necesario utilizar una lima en algunas zonas.



Figura 43. Gubia

En la Figura 44 se muestra como sale la pieza de la impresora y como queda una vez se ha limpiado y eliminado el material sobrante.



Figura 44. Pieza impresa derch. y pieza limpia izq.

Cuando las piezas están limpias se comprueba que encajan en su hueco correspondiente sin llegar a atornillar.



Figura 45. Piezas colocadas

Como se ve en la Figura 45 las piezas encajan en el hueco que ocupaba el resbalón original sin problema, por lo que el diseño del frontal es correcto y se pueden pegar los imanes en sus huecos correspondientes.

A la hora de colocar los imanes es muy importante tener en cuenta que la base del funcionamiento de este resbalón es que los polos iguales de los imanes queden enfrentados, por lo que todos tienen que instalarse con el mismo polo visible.

Para fijar la separación entre los imanes de las hileras se introducen arandelas de 0,5 mm de espesor y 6,5 mm de diámetro en los huecos de la pieza, quedando situadas entre la pieza y el imán, de forma que se controla cuanto sobresalen los imanes del frontal de la pieza, ya que más adelante se va a modificar la distancia entre las hileras para ver cómo afecta a la fuerza magnética. Las arandelas y los imanes se fijan a la pieza mediante pegamento de contacto.

Pasadas 24 horas, el pegamento se ha secado y los imanes quedan fijados en las piezas, por lo que se instalan en la puerta. Para poder fijar correctamente este diseño se han añadido dos agujeros avellanados en cada pieza para sí poder utilizar los tornillos del resbalón mecánico.

Una vez está el modelo completa instalado en la puerta se comprueba que el resbalón cumpla con los principales objetivos, que sea capaz de mantener la puerta cerrada y que se hayan disminuido los ruidos que procede al abrirse y cerrarse.

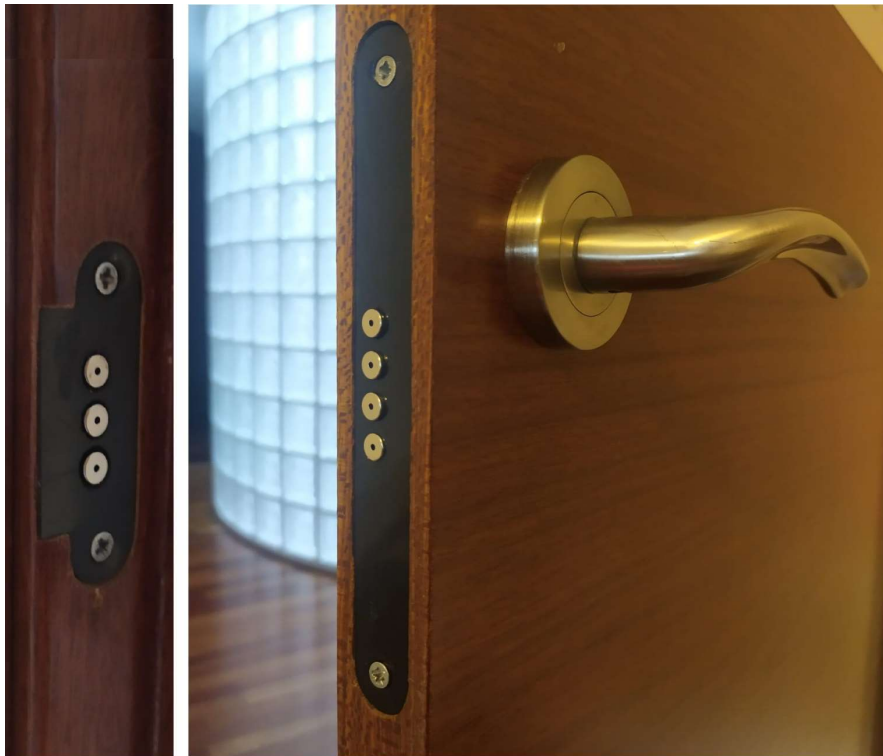


Figura 46. Instalación del resbalón definitivo.

En la Figura 46 se muestra el resbalón magnético instalado en la puerta. Para solucionar el ruido que produce la puerta cuando choca con el marco se han pegado dos rectángulos de fieltro en el tope.

En este caso los fieltros son de color blanco y se han colocado cerca del resbalón, como se muestra en la Figura 47 pero para que sea más estético se pueden poner de un color más disimulado y en la parte de arriba del marco para que se vea menos.



Figura 47. Fieltro situado en el marco de la puerta

Capítulo 7 – Ensayos y medidas de la fuerza aplicada

7.1 – INTRODUCCIÓN

Una vez se ha instalado el modelo del resbalón magnético se van a realizar tres pruebas de funcionamiento, variando la distancia entre las hileras de imanes, al igual que se ha hecho en simulación en el Capítulo 5.

Para medir la fuerza necesaria para abrir la puerta en cada caso se ha utilizado un dinamómetro con un rango de 0 a 5 Newtons y una precisión de 0.1 N como el que se muestra en la Figura 48.



Figura 48. Dinamómetro utilizado en los ensayos

7.2 – SISTEMA DE MEDIDA DE LA FUERZA

Para obtener las medidas, se coloca el gancho del dinamómetro en la manilla de la puerta cuando está cerrada y se va tirando del asa, aumentando la fuerza a una velocidad lo más constante posible. Cuando se ha aplicado la fuerza suficiente para vencer la ejercida por los imanes la puerta empieza a abrirse. Para poder apreciar bien el momento en el que se ha alcanzado la fuerza mínima que hace que la puerta se abra se ha grabado un video a cámara lenta.

Al igual que en las simulaciones, estos ensayos se han realizado para tres medidas de la separación entre las dos hileras: 2 mm, 1mm y 0,5 mm.

En los tres casos, aunque se hayan obtenido medidas distintas, las fuerzas se han comportado de la misma forma.

Al aplicar la fuerza para abrir la puerta, en primer lugar, se observa cómo se va incrementando la lectura en el dinamómetro de forma más o menos lineal. Cuando la puerta se empieza a abrir el dinamómetro marca el valor máximo de la fuerza, este valor se mantiene constante hasta que la hilera de imanes de la puerta sobrepasa la del marco.

A partir de ese momento, la fuerza que se aplica al dinamómetro se deja constante, pero como la puerta se está moviendo, la fuerza que se transmite a la puerta, a través del muelle del dinamómetro, se va incrementando, ya que este se va comprimiendo.

Cuando la puerta ya ha traspasado la hilera de imanes del marco, se percibe como la fuerza medida disminuye de manera brusca, esto es debido a que la fuerza magnética que afecta a los imanes en ese momento va en el mismo sentido que el movimiento de la puerta, por lo que ayuda a que se abra. Esta parte se correspondería con la primera parte de las curvas estudiadas en simulación, es decir, hasta que el ángulo toma el valor de 1° .

En la Figura 49 se muestran capturas de uno de los videos que se han tomado, en ellas podemos ver en primer lugar cómo se coloca el dinamómetro en la posición de reposo, es decir, cuando la fuerza que se ejerce es nula. Después, se muestra lectura de la medida máxima obtenida en este video y, por último, una medida tomada cuando la puerta se está abriendo y la fuerza se va reduciendo.

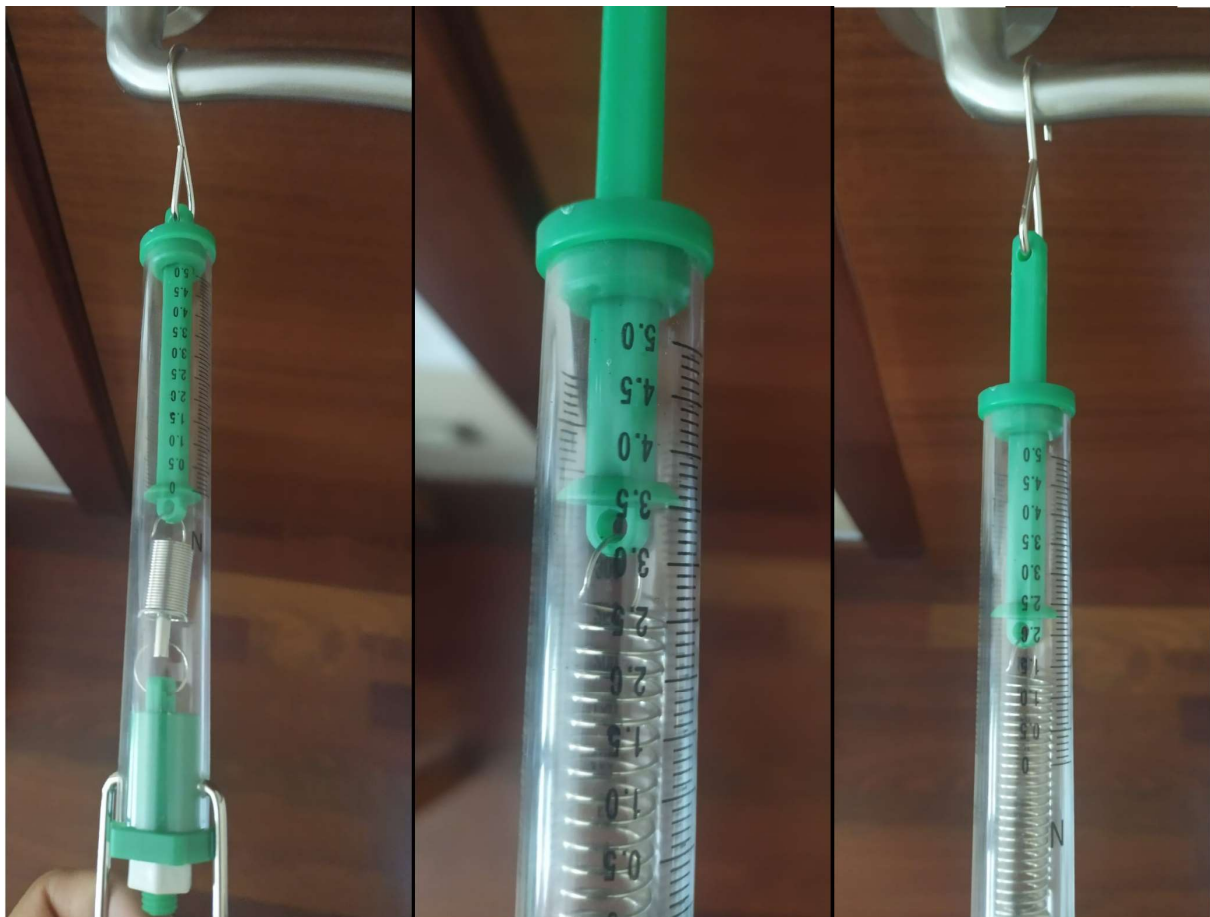


Figura 49. Sistema de medida de la fuerza magnética.

A continuación, se van a comparar los resultados obtenidos en simulación con los medidos en el modelo físico.

7.3 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

En el Capítulo 5, los resultados que se han obtenido de las simulaciones muestran la evolución de cada una de las fuerzas que actuaba en cada imán respecto al ángulo que se abría la puerta. En este caso, se mide una única fuerza aplicada en el conjunto del resbalón, que se corresponde a la fuerza aplicada en el imán que tenga mayor magnitud.

Las medidas que se obtienen con el dinamómetro son menos precisas que los resultados de la simulación. Además, no se obtienen respecto a un valor concreto del ángulo de apertura de la puerta.

Hasta este momento, en los resultados de las simulaciones las fuerzas iban de su valor máximo hasta anularse y luego volvía a aumentar el módulo de la fuerza, pero con el signo contrario. En la realidad pasa algo parecido. En este caso la fuerza que se mide es la que se aplica para abrir la puerta, mientras que en simulación se medía la fuerza magnética que afectaba a cada imán, y como la fuerza siempre se aplica en el mismo sentido, no hay cambio de signo. Sin embargo, sin variar la fuerza que se está aplicando, se precia una disminución más brusca en la lectura de la fuerza del dinamómetro, que se corresponde al efecto que se ha comentado.

A partir de ese momento, las fuerzas magnéticas pasan a ser despreciables ya que las hileras de imanes dejan de interactuar entre ellas.

En la Tabla 8 se muestran las dos medidas de las dos medidas de las fuerzas que se han diferenciado en el dinamómetro para los mismos valores de la distancia entre las hileras que en la simulación: 2 mm; 1mm; 0,5mm.

	2 MM	1 MM	0,5 MM
F MÁX MEDIDA	3,1 N	3,5 N	4,2 N
F MÁX SIMULADA	2,97 N	3,67 N	3,99 N

Tabla 8. Resultados de los ensayos con el dinamómetro

Si se comparan los resultados medidos con los simulados, se ve que la diferencia máxima es de 0,17 N, esto se puede ser resultado de la precisión del dinamómetro, de errores humanos a la hora de medir o porque la distancia a la que se han colocado las hileras no sea exacta. Además, en la simulación no se tienen en cuenta el peso o el rozamiento de la puerta al abrirse ya que como se puede comprobar en los ensayos ese efecto es despreciable.

Por tanto, se ha considerado que 4 N es una fuerza suficiente para mantener la puerta cerrada y que no se abra por corrientes que se puedan generar en el edificio, por lo que el resbalón definitivo que sea instalado ha sido con esa separación entre hileras.

Capítulo 8 – Presupuesto

El presupuesto que se ha realizado para este proyecto se divide en el coste de la mano de obra y el coste de materiales

8.1 – COSTE DE LA MANO DE OBRA

La mano de obra que ha participado en este proyecto es: un ingeniero técnico; un ingeniero superior con doctorado y un técnico de laboratorio.

En la Tabla 9, obtenida del BOE núm. 251 de 2019, del Anexo 1, dónde se especifica el salario base de cada nivel profesional, según el XIX Convenio colectivo del sector de empresas de ingeniería y oficinas de estudios técnicos. [42]

Niveles		Tabla salarial según art. 33		Plus convenio anual según art. 38 convenio	Total anual
		Mes x 14	Anual		
1	LICENCIADOS Y TITULADOS 2.º Y 3.º CICLO UNIVERSITARIO Y ANALISTA	1.712,42	23.973,88	2.349,69	26.323,57
2	DIPLOMADOS Y TITULADOS 1.º CICLO UNIVERSITARIO. JEFE SUPERIOR	1.291,04	18.074,56	2.349,69	20.424,25
3	TÉCNICO DE CÁLCULO O DISEÑO, JEFE DE 1.ª Y PROGRAMADOR DE ORDENADOR	1.244,93	17.429,02	2.349,69	19.778,71
4	DELINEANTE-PROYECTISTA, JEFE DE 2.ª Y PROGRAMADOR DE MAQ. AUXILIARES	1.141,36	15.979,04	2.349,69	18.328,73
5	DELINEANTE, TÉCNICO DE 1.ª, OFICIAL 1.ª ADMTVO. Y OPERADOR DE ORDENADOR	1.019,82	14.277,48	2.349,69	16.627,17
6	DIBUJANTE, TÉCNICO DE 2.ª, OFICIAL 2.ª ADMTVO., PERFORISTA, GRABADOR Y CONSERJE	878,63	12.300,82	2.349,69	14.650,51
7	TELEFONISTA-RECEPCIONISTA, OFICIAL 1.ª OFICIOS VARIOS Y VIGILANTE	849,16	11.888,24	2.349,69	14.237,93
8	AUXILIAR TÉCNICO, AUX. ADMTVO., TELEFONISTA, ORDENANZA, PERSONAL DE LIMPIEZA Y OFICIAL 2.ª OFICIOS VARIOS	790,36	11.065,04	2.349,69	13.414,73
9	AYUDANTE OFICIOS VARIOS	757,29	10.602,06	2.349,69	12.951,75

Tabla 9. Tabla salarial del BOE núm. 251 de 2019

El ingeniero técnico corresponde al nivel 2, el ingeniero superior al nivel 1 y el técnico de laboratorio al nivel 3. Por tanto, en la Tabla 10 se resumen las distintas tareas, con la carga de horas y el coste correspondiente, basándose en los datos obtenidos de la tabla anterior. Para obtener el coste por hora, se divide el salario anual de cada nivel entre 1792 horas de trabajo efectivo en cómputo anual.

	Tareas	Duración	Total horas	Coste/hora	Coste total
Ingeniero técnico	Diseño resbalón	50 h	115 h	11,40 €/h	1.311,00 €
	Simulaciones campos y fuerzas magnéticas	25 h			
	Fabricación y montaje	5 h			
	Ensayos de funcionamiento	5 h			
	Realización de la documentación	25 h			
Ingeniero superior	Seguimiento proyecto	20 h	20 h	14,69 €/h	293,80 €
Técnico de laboratorio	Impresión en 3D de las piezas	5 h	5 h	11,04 €/h	55,20 €
TOTAL			140	-	1.660 €

Tabla 10. Coste de la mano de obra

8.2 – COSTE DEL MATERIAL

En los costes del material se incluyen los elementos para la fabricación del resbalón y las herramientas para la realización de ensayos.

	Cantidad	Coste	Total
Piezas (material)	3	0,05 € [43]	0,15 €
Imanes	14	4,00 € [44]	56 €
Dinamómetro	1	7,50 € [45]	7,5 €
TOTAL			63,65 €

Tabla 11. Coste del material

Para calcular el coste de las piezas se comprueba la cantidad de material que se necesita con el programa Ultimaker Cura y se obtiene que cada pieza son 2 g (0,2 m) de filamento.

En este tipo de costes también se incluyen las licencias de los programas utilizados: Solid Edge 2020 y ANSYS Electromagnetics. En ambos casos el coste ha sido nulo, ya que se ha utilizado licencia de estudiante.

8.2 – COSTE GLOBAL

Coste mano de obra	1660 €
Coste material	63,65 €
Total	1723,65 €

Tabla 12. Coste global

El coste global del proyecto asciende a la cantidad de 1723,65 €.

Capítulo 9 – Producción y comercialización del prototipo

Una vez se ha diseñado, fabricado y testeado el prototipo, se va a detallar el proceso para la posterior producción en serie de este tipo de resbalones. En este caso, se va a fabricar para instalarlo en cualquier puerta, por lo que se va a modificar la forma y las dimensiones del resbalón que se ha hecho en este proyecto.

Además, para que la fabricación sea más eficiente se van a construir las piezas mediante el proceso de inyección de plásticos.

Por tanto, en este capítulo se va a explicar el proceso y el coste de la fabricación de este prototipo para poder comercializarlo.

9.1 – DISEÑO DEL NUEVO PROTOTIPO

El diseño del resbalón magnético que se ha mostrado en este proyecto ha dependido en muchos casos de la cerradura que ya estaba instalada y del hueco que dejaba en la puerta. Como en este caso se va a hacer un diseño para una puerta cualquiera, el diseño se puede optimizar, quedando como se muestra en la Figura 50.

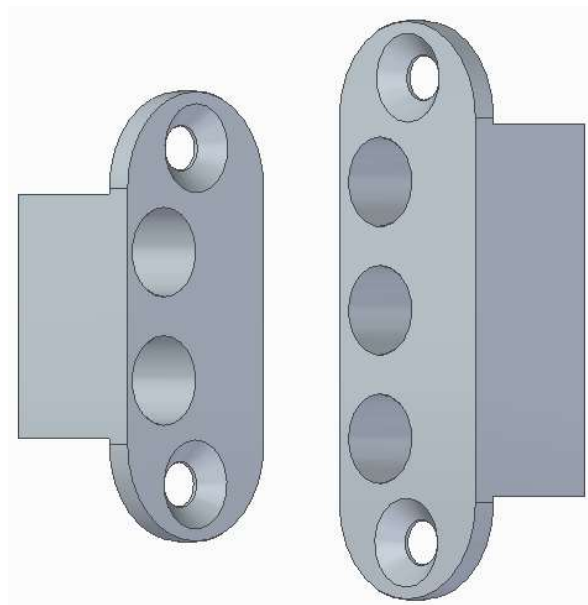


Figura 50. Diseño producción en serie

Las principales modificaciones que se han hecho ha sido la reducción del tamaño de ambas piezas, sobre todo debido a la eliminación del frontal y a que se van a instalar menos imanes.

Esto se debe a que como se ha visto en las simulaciones de las fuerzas magnéticas, cada imán solo se veía afectado por los campos magnéticos de los imanes más próximos, por lo que se consiguen la misma fuerza con solo 5 imanes.

9.2 – FABRICACIÓN POR INYECCIÓN

La fabricación por inyección es un proceso que consiste en insertar plástico fundido en un molde hecho a partir del diseño de la pieza que se quiere crear.

Los moldes se suelen fabricar en acero para que soporten las altas temperaturas y presiones a las que están sometidos y sirven para una producción limitada, es decir, hay que fabricar nuevos moldes cada cierto tiempo.

Además, se necesita una unidad de inyección que controla la temperatura para fundir el polímero y lo inserta en el molde y una unidad de cierre, que consiste en una prensa que ejerza una fuerza suficiente para que el molde no se abra y el material que bien situado dentro.

Una vez que el material se ha inyectado en el molde hay que esperar un tiempo determinado a que se enfríe, por lo que es recomendable tener más de un molde operativo, de forma que la fabricación sea más continua. [46]

Una vez se ha fabricado la pieza, están pasarían a un transportador automatizado que mediante un brazo robótico inserte el pegamento y los imanes en el resbalón.

9.3 – COSTES DEL PROCESO

El coste final del resbalón se puede dividir en tres: diseño, materiales y fabricación.

En primer lugar, el coste del diseño de la pieza corresponde al precio de las horas que se han empleado hasta obtener el modelo que se va a implementar. Las horas empleadas han sido dos, y como el diseño ha sido realizado por un ingeniero técnico, tal y como se ha explicado en el capítulo 8, el coste final es de 22,80 €.

El coste del material utilizado para la implementación del resbalón es el que se muestra en la Tabla 13.

	Cantidad	Coste	Total
Imanes	5	0,36 € [47]	1,80 €
Tornillos	4	0,01 € [48]	0,04 €
TOTAL			1,84 €

Tabla 13. Costes del material

Para reducir el coste de los materiales, se han obtenido los precios para cantidades al por mayor.

El material empleado para la fabricación de las piezas se incluye con los costes asociados al proceso de inyección.

9.3.1 – COSTES DEL PROCESO DE INYECCIÓN

Para conocer el coste de parte del proceso y el tiempo de ciclo se ha consultado a la empresa Hefi S.L., el presupuesto obtenido se adjunta en el Anexo I. Este se divide en: el material, la maquinaria y el molde.

El material que se va a utilizar para inyectar en el molde es polietileno de baja densidad (PEHD), ya que es un plástico barato, fácil de procesar, fuerte y versátil. [49]

Este material tiene una densidad de $0,96 \text{ g/cm}^3$ y un precio de $2,5 \text{ €/Kg}$. Por tanto, para saber el material que se va a emplear en cada pieza se ha obtenido primero el volumen y a partir de ahí el precio como se muestra en la Tabla 14.

	Volumen (cm^3)	Densidad (g/cm^3)	Peso (Kg)	Precio (€/Kg)	Coste (€)
Pieza puerta	4,375	0,96	$4,2 \times 10^{-3}$	2,5	0,0105
Pieza marco	3,125	0,96	3×10^{-3}	2,5	0,0075
TOTAL del conjunto					0,018

Tabla 14. Coste del material de fabricación

Para calcular el precio de máquina de una pieza se debe tener en cuenta: el tiempo de ciclo, la fuerza de cierre de la máquina de inyección, el precio/hora de la misma y el número de cavidades del molde.

El tiempo de ciclo de cada pieza se obtiene a partir del presupuesto, donde se debe tener en cuenta el tiempo de llenado, tiempo de compactación y tiempo de refrigeración. En el caso de que el molde tenga más de una cavidad, es decir se puedan inyectar dos o más piezas a la vez, el tiempo de ciclo por pieza, será el resultado de dividir el tiempo de ciclo entre el número de cavidades. En este caso en cada molde se va a fabricar el conjunto de las dos piezas. Con respecto a la fuerza de cierre, también se obtiene con el presupuesto.

El ciclo de inyección es de 25 segundos, y el molde tiene dos cavidades por lo que tarda $12,5 \text{ s/pieza}$. Por tanto, sabiendo que una hora tiene 3600 segundos, se fabricarán unas 288 piezas por hora, es decir, se obtendrán 144 conjunto de piezas a la hora.

La máquina utilizada para fabricar las piezas va a ser la ENGEL victory de 40 Tn. Esta máquina tiene una tasa horaria de $30,78 \text{ €/h}$, a esto hay que añadir el gasto del personal que es de $6,70 \text{ €/h}$. Por tanto, los gastos de elaboración de cada conjunto de piezas se obtienen de dividir el total de las tasas horarias ($30,78 + 6,70 = 37,48 \text{ €/h}$) entre las piezas que se fabrican en una hora (288), dando como resultado $0,13 \text{ €/pieza}$.



Figura 51. Máquina de inyección

Además del tiempo en el que la maquinaria está fabricando, por cada ciclo de producción hay un tiempo de preparación de la máquina para cada tirada de productos iguales que se saquen, por ello, cuantas más piezas seguidas se fabriquen más baratas salen las piezas.

En este caso se ha estimado que se van a fabricar 10 000 resbalones, es decir, un total de 20 000 piezas. El tiempo aproximado que se tarda en preparar la maquina es de una hora, y el coste del técnico que lo realiza es de 110 €/h. Por tanto, al coste que se tenía hasta ahora de la elaboración de la pieza hay que sumarle 0,38 €/pieza, obteniendo un coste de elaboración total de 0,51 €/pieza. En la Tabla 15, se muestra un resumen de los parámetros para el cálculo del coste de la maquinaria de fabricación.

Fuerza de cierre	40 Tn
Duración de ciclo	25 segundos
Cavidades molde	2 piezas (1 conjunto)
pz/hora	288 piezas – 144 conjuntos
Precio de hora de máquinas	30,78 €/h
Gastos de personal	6,70 €/h
Gastos de elaboración	0,13 €/pieza
Tamaño de la porción	20 000 piezas – 10 000 conjuntos
Tiempo de preparación	1 h
Tasa por hora para instalar/preparar las máquinas	110 €/h
Costes de preparación	0,38 €/pieza
Costes para elaboración totales	0,51 €/pieza

Tabla 15. Costes de la maquinaria de fabricación

Por último, queda calcular el coste asociado a la fabricación del molde. Este se divide en dos partes: las placas y la estructura del molde.

Para construir las placas del molde se utiliza acero mecanizado, cuyo precio es de 18 €/Kg y su densidad 7850 Kg/m³. Por lo que para saber el precio hay que conocer el volumen del molde, este se ha obtenido del presupuesto. El precio final aparece en la Tabla 16.

Precio del acero	18 €/Kg
Densidad del acero	7850 Kg/m ³
Volumen del molde	$1,62 \times 10^{-4} \text{ m}^3$
Costes placas del molde	22,89 €

Tabla 16. Costes de las placas del molde.

La estructura del molde también se fabrica con acero mecanizado, pero este de peor calidad, por lo que su precio es de 6 €/Kg. Haciendo una aproximación se prevé que el peso de esta pieza va a ser de 3 Kg, por lo que el coste total es de 18 €.

Con esto, se obtiene que el precio total para fabricar un molde es de 38,89 €, pero cada molde se estima que se va a poder utilizar para fabricar 100 conjuntos de piezas, ya que cada molde se va a mecanizar para fabricar las dos piezas a la vez, lo que significa que el precio asociado al resbalón con respecto al molde es de 0,39 €.

En la Tabla 17, se obtiene el coste final de la producción del resbalón magnético.

Coste material	1,84 €
Coste material inyección	0,058 €
Coste de elaboración	0,51 €
Coste molde	0,39 €
TOTAL	2,798 €

Tabla 17. Costes totales de la fabricación del resbalón magnético

Por tanto, si se vende el conjunto del resbalón por 3,9 €, lo que se considera un precio muy competitivo, ya que únicamente las cerraduras más sencillas tienen un precio menor, se obtendría un beneficio del 40%.

Capítulo 10 – Conclusiones

Como ya se ha comentado en la introducción de este proyecto, el resbalón es el mecanismo instalado en las cerraduras de las puertas, que permite mantenerlas cerradas o abrirlas. Su principio de funcionamiento se basa en un muelle, unido a un perno. Esto presenta dos inconvenientes principales:

- Los muelles son elementos elásticos, es decir, son capaces de deformarse al aplicar una fuerza y volver a su forma original cuando este deja de aplicarse. Pero esta propiedad se va perdiendo con el tiempo, por lo que se sufre un desgaste que puede ocasionar que las puertas se atasquen.
- La puerta cuenta con elementos como el pestillo, que sobresale, lo que provoca que cuando se cierra, golpea el marco, además, para impedir que se abra hacia los dos lados, el marco tiene un saliente perpendicular con el que la puerta también choca. Estos ruidos unidos a los que puede producir el muelle debido al desgaste pueden llegar a ser muy molestos.

Para solucionar estos problemas, en este TFG se propone resbalón alternativo al que funcione mediante fuerzas magnéticas. Para ello se ha hecho un diseño en 3D, que para poder probar su funcionamiento tenía que encajar en una puerta ya instalada.

Por tanto, a la hora de realizar el diseño se han debido tener muy en cuenta el espacio del que se disponía en la puerta. La principal dificultad encontrada en esta parte del desarrollo del proyecto ha sido configurar la posición de los imanes en las piezas.

Inicialmente se partió con la idea de crear tres hileras de imanes, dos en el marco y una en la puerta, con todos los imanes de la misma polaridad, de forma que cuando la puerta estuviese cerrada, sus imanes quedasen atrapados por las fuerzas magnéticas de las otras dos hileras, como se ha explicado en el Capítulo 4. Este planteamiento no se pudo llevar a cabo debido a que el grosor de las piezas era muy pequeño para poder instalar los imanes del tamaño del que se disponía (ϕ 7 mm).

Como alternativa se pensó en modificar en parte el principio de funcionamiento del resbalón magnético, en lugar de que las fuerzas entre los imanes fuesen de repulsión, que fuesen de atracción, es decir, solo sería necesario instalar dos hileras (una en la puerta y otra en el marco) enfrentadas entre ellas y con los imanes de cada una de distinta polaridad. Esta disposición solucionaba el problema del espacio y del ruido producido por el muelle y el pestillo, pero no por el tope del marco, además, el funcionamiento del resbalón no sería del todo adecuado, ya que en el momento que se acercase lo suficiente la puerta a la posición de cierre, las fuerzas de atracción de los imanes harían que la puerta se cerrase de golpe e incluso diese un portazo.

Finalmente se dio con una solución basada en la idea original, en lugar de instalar tres hileras se instalan dos, una en cada pieza, como en el caso anterior, pero esta vez los imanes deben tener la misma polaridad y no quedar enfrentados en la posición de cerrado de la puerta. Al quitar una hilera (la más próxima al tope del marco) se consigue ganar mucho espacio, además, en lugar de que los

imanes de las hileras estén alineados horizontalmente, se ha aprovechado la forma circular para que queden intercalados, como se muestra en la Figura 52.

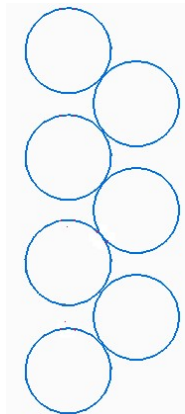


Figura 52. Posición definitiva de los imanes

Esta solución sigue sin dar solución a uno de los inconvenientes del resbalón convencional, al eliminar una de las hileras del marco, la puerta sigue chocando con el tope del marco. Esto se ha solucionado poniendo en dicho tope pequeñas piezas de fieltro que amortiguan el ruido.

Una vez se consiguió un diseño definitivo, se comprobó mediante simulación las fuerzas magnéticas que se generaban eran suficientes para mantener la puerta cerrada y se fabricó el resbalón magnético.

Con el prototipo diseñado se hicieron ensayos para comprobar si los resultados obtenidos en simulación correspondían a los obtenidos en la realidad, dando como resultado valores muy próximos.

Por último, se ha realizado un presupuesto del coste del proyecto una previsión de cómo sería la fabricación en serie del producto de forma que se pudiese comercializar.

Por todo esto, este proyecto de fin de carrera ha resultado muy útil para comprender y abordar todas las fases que hay en la concepción y el desarrollo de un proyecto.

Durante el grado, lo normal era hacer trabajos sobre un tema específico, en cambio, al realizar el proyecto se han utilizado conocimientos desarrollados en asignaturas muy distintas, por ejemplo, el diseño en 3D y el magnetismo.

Normalmente en las distintas asignaturas en las que se desarrollaba algún proyecto se partía de una idea ficticia y si era necesario se hacían asunciones para facilitar la resolución de los problemas. Además, en la mayoría de los casos los resultados se comprobaban únicamente en simulación, algo que no siempre se puede hacer en el mundo real. En este caso, se ha hecho el desarrollo completo de la planificación de un proyecto, es decir, se ha hecho el diseño, se ha comprobado su validez y se ha desarrollado un presupuesto y una planificación de producción.

En estos meses se han tenido que ir solventando distintos problemas que han ido surgiendo el desarrollo, en la ejecución y en la depuración del prototipo y es ahí donde se demuestra las cualidades más importantes que se desarrollan en el grado, más allá de los conocimientos técnicos, saber analizar cada situación para descomponer los problemas que surjan y poder ir solucionándolos.

En definitiva, la realización de este proyecto de fin de carrera, más allá de demostrar ciertos conocimientos adquiridos durante estos años, demuestra que en ciertos momentos hay que ser capaz de mirar más allá para encontrar alternativas cuando la situación lo requiere.

Bibliografía

Artículos consultados:

- [1] “Qué es el resbalón de una puerta y para qué sirve.”
<https://www.puertaskiuso.com/resbalon/> (fecha de acceso Ene. 15, 2019).
- [2] “Definición de magnetismo - Qué es, Significado y Concepto.”
<https://definicion.de/magnetismo/> (fecha de acceso Ene. 25, 2019).
- [3] “Serway y Jewet, Física para las Ciencias y la Ingeniería, Vol. 2”, Thomson Paraninfo
- [4] “Campo Magnético - Concepto, origen, tipos y características.”
<https://concepto.de/campo-magnetico/> (fecha de acceso Feb. 02, 2019).
- [5] “Magnetismo. Introducción.”
<http://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/magnet/tierraiman.html> (fecha de acceso Feb. 02, 2019).
- [6] “Magnetismo - Wikipedia, la enciclopedia libre.”
<https://es.wikipedia.org/wiki/Magnetismo> (fecha de acceso Feb. 03, 2019).
- [7] “III. EL MAGNETISMO Y EL ÁTOMO: DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA.”
http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/056/htm/sec_5.htm
(fecha de acceso Feb. 05, 2019).
- [8] “Ferromagnetismo - Wikipedia, la enciclopedia libre.”
<https://es.wikipedia.org/wiki/Ferromagnetismo> (fecha de acceso Feb. 08, 2019).
- [9] “Materiales magnéticos (GIE).”
[http://laplace.us.es/wiki/index.php/Materiales_magnéticos_\(GIE\)](http://laplace.us.es/wiki/index.php/Materiales_magnéticos_(GIE)) (fecha de acceso Feb. 10, 2019).
- [10] “Tipos de Imanes.” <https://10tipos.com/tipos-de-imaness/> (fecha de acceso Feb. 15, 2019).
- [11] “Clasificación de los materiales magnéticos.”
https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm10/pfcm10_3_4.html (fecha de acceso Feb. 15, 2019).
- [12] “Clasificación y tipos de imanes | Imanbox.” <http://imanbox.es/es/clasificacion-y-tipos-de-imaness/> (fecha de acceso Feb. 19, 2019).
- [13] “Magnetismo - Concepto, historia y aplicaciones.” <https://concepto.de/magnetismo/>
(fecha de acceso Mar. 15, 2019).

- [14] “¿Qué es un picaporte imantado? - Comunidad Leroy Merlin.” <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Bricopedia-Bricolaje/Qué-es-un-picaporte-imantado/ta-p/206418> (fecha de acceso Abr. 04, 2019).
- [15] “Medidas de las cerraduras | PUERTASYCERRADURAS.” <http://puertasycerraduras.blogspot.com/2018/02/medidas-de-las-cerraduras.html?m=1> (fecha de acceso Abr. 10, 2019).
- [16] “Quiénes somos - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/quienes-somos/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [17] “Picaporte Sistemas Magnéticos - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/catalogo/manillas-herrajes/picaportes-puertas/sistemas-magneticos/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [18] “Cerradura magnetica condena 825-C - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/producto/cerradura-magnetica-condena/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [19] “Cerradura magnetica condena 826-C - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/producto/cerradura-magnetica-condena-2/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [20] “Picaporte magnetico unificado 819 - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/producto/picaporte-magnetico-unificado/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [21] “Picaporte magnetico unificado 819B - AYR Opening Doors.” <https://ayr.es/producto/picaporte-magnetico-unificado-2/> (fecha de acceso May. 02, 2019).
- [22] “Quienes somos - AGB Sistemas.” <http://agbsistemas.es/quienes-somos/> (fecha de acceso May. 05, 2019).
- [23] “AGB - 01 Cerraduras - 04 Puertas de Paso - Centro Focus Catálogo.pdf - Google Drive.” https://drive.google.com/file/d/0B_ZOr4_FbwGAczB0MERJRVpTQlk/view (fecha de acceso May. 05, 2019).
- [24] “AGB - 01 Cerraduras - 04 Puertas de Paso - Mediana Polaris Catálogo.pdf - Google Drive.” https://drive.google.com/file/d/0B_ZOr4_FbwGAbVFvanc3VGliWU0/view (fecha de acceso May. 05, 2019).
- [25] “tarifa 2016 - Puertas de Paso.pdf - Google Drive.” https://drive.google.com/file/d/0B_ZOr4_FbwGAWEl1VHpDRkRuNHc/view (fecha de acceso May. 05, 2019).
- [26] “Empresa - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/company/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [27] “Famiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/> (fecha de acceso May. 10, 2019).

- [28] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-one/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [29] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-evo/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [30] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-france/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [31] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-smart/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [32] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-forty/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [33] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-twin/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [34] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-klass/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [35] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-latch/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [36] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-FIVE-for-alu-profiles/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [37] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/solutions-for-glass-doors/B-ALEX-for-glass-doors/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [38] “SottoFamiglia - Bonaiti Serrature Spa.” <https://www.bonaiti.it/en/products/Magnetic-locks/B-no-ha-mini/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [39] “No-Ha, the invisible handle.” <https://no-ha.com/es/> (fecha de acceso May. 10, 2019).
- [40] “Tornillo - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Tornillo#Tornillos_para_madera (fecha de acceso Sep. 15, 2019).
- [41] “supermagnete - supermagnete.es.” <https://www.supermagnete.es/physical-magnet-data> (fecha de acceso Jul. 15, 2020).
- [42] M. De Trabajo, “Disposición 14977 del BOE núm. 251 de 2019,” 2019. Fecha de acceso: Agosto. 20, 2020. [Online]. Available: <http://www.boe.es>.
- [43] “SUNLU PLA Filamento Impresora 3D, PLA plus Filamento 1.75mm, 3D Filamento PLA+, 1KG Gris: Amazon.es: Industria, empresas y ciencia.” https://www.amazon.es/SUNLU-Filamento-Impresora-plus-1-75mm/dp/B07R6PL63K/ref=mp_s_a_1_5?dchild=1&keywords=filamento%2Bimpres

- ora%2B3d&qid=1599069934&sprefix=filamento%2Bimoresor&sr=8-5&th=1&psc=1 (fecha de acceso Agosto. 29, 2020).
- [44] “HKCM Engineering e.K. - professional magnet supplier.” <https://www.hkcm.de/desk.php/> (fecha de acceso Agosto. 29, 2020).
- [45] “3B Scientific U40811 Dinamómetro, Codificado A Color, 5 N: Amazon.es: Industria, empresas y ciencia.” https://www.amazon.es/3B-Scientific-U40811-Dinamómetro-Codificado/dp/B00BUTY1MS/ref=mp_s_a_1_7?dchild=1&keywords=dinamometro&qid=1595604923&sr=8-7 (fecha de acceso Agosto. 29, 2020).
- [46] “Moldeo por inyección - Wikipedia, la enciclopedia libre.” https://es.wikipedia.org/wiki/Moldeo_por_inyección#El_principio_del_moldeo (fecha de acceso Sep. 1, 2020).
- [47] “Cilindro magnético Ø 6 mm, altura 10 mm Neodimio, N40, niquelado.” https://www.superimanes.com/imaness-neodimio-potentes/imaness-neodimio-cilindros-barras-tubos-magneticos/cilindro-06-10#/unidades_tamano_pequeno-desde_150_uds (fecha de acceso Sep. 4, 2020).
- [48] “DIN 7991-A2, Tornillo allen cab. avelan., M3 x 20, 0,01 €.” <http://www.tecnico-productos.es/shop/DIN-7991-A2-Tornillo-allen-cab-avelan-M3-x-20> (fecha de acceso Sep. 5, 2020).
- [49] “Termoplásticos: qué son y tipos.” <https://plasticosascaso.es/termoplasticos-que-son-y-tipos/> (fecha de acceso Sep. 5, 2020).

ANEXOS

ANEXO I

En el anexo del presente proyecto se incluye el presupuesto de la fabricación por inyección.

Plan del cálculo para las piezas plásticas

CALCULO DE COSTE DE MATERIAL				
Material	POLIETILENO BAJA DENSIDAD (HDPE)			TIPO DE MATERIAL CON EL QUE SE INYECTARÁN LAS PIEZAS
1	Precio de materia prima	2,50 €/kg		PRECIO MATERIAL
2	Gastos de materiales PIEZA PEQUEÑA	0,30 kg/100 pz.		EL GASTO DE MATERIAL EN KG. PARA LA INYECCIÓN DE 100 UDS. DE LA PIEZA PEQUEÑA
3	Gastos de materiales PIEZA GRANDE	0,42 kg/100 pz.		EL GASTO DE MATERIAL EN KG. PARA LA INYECCIÓN DE 100 UDS. DE LA PIEZA GRANDE
4	Costes materiales PIEZA PEQUEÑA	0,75 €/100 pz.		COSTE EN EUROS DE MATERIAL PIEZA PEQUEÑA
5	Costes materiales PIEZA GRANDE	1,05 €/100 pz.		COSTE EN EUROS DE MATERIAL PIEZA GRANDE

COSTE DE ELABORACION				
Elaboración				
6	Fuerza de cierre	40 t	t	TONELAJE DE LA MÁQUINA CON LA QUE VAMOS A INYECTAR
7	Duración de ciclo	25	segundo	CICLO X PIEZA
8	Cavidades molde	2	pz.	EL MOLDE TIENE 2 CAVIDADES - UNA PIEZA PEQUEÑA Y UNA PIEZA GRANDE
9	pz/hora 3600	288	pz./Hora	PIEZAS QUE SE INYECTA A LA HORA - SERÁN 144 UDS. DE CADA REFERENCIA
10	Precio de hora de máquinas	30,78	€/Hora	ES UN PRECIO ESTIMADO. CADA EMPRESA TIENE SU COSTE DE MÁQUINA
11	Gastos de personal	6,70	€/Hora	ES UN PRECIO ESTIMADO. CADA EMPRESA TIENE SU GASTO DE PERSONAL
12	Gastos de elaboración [(10)+(11)]*100/(9):	13,01	€/100 pz.	PRECIO HORA MÁQUINA + GASTO DE PERSONAL x 100 PIEZAS ENTRE PIEZAS HORA
11	Tamano de la porción:	20.000	pz.	CANTIDAD DE PIEZAS TOTALES A FABRICAR (10000 PIEZAS PEQUEÑAS Y 10000 PIEZAS GRANDES)
12	Tiempo de preparación:	1, h	Hora	EL TIEMPO QUE SE ESTIMA PREPARAR EL MOLDE EN LA MÁQUINA - TIEMPO DEL TÉCNICO INYECCIÓN
13	Tasa por hora para instalar/preparar las máquinas:	110,00	EUR/Hora	PRECIO HORA DEL TÉCNICO DE INYECCIÓN - PRECIO ESTIMADO
14	Costes de preparación (13)*(12)*100/(11):	0,55	EUR/100 pz.	COSTE TOTAL DE PREPARACIÓN DEL MOLDE
15	Costes para elaboración totales (12)+(14):	13,56	EUR/100 pz.	EL COSTE TOTAL DE ELABORACIÓN

PRECIO PIEZA				
16	Costes completos PIEZA PEQUEÑA (4)+(15):	14,31	EUR/100 pz.	COSTE MATERIAL PIEZA PEQUEÑA + COSTE ELABORACIÓN
17	Costes completos PIEZA GRANDE (5)+(15):	14,61	EUR/100 pz.	COSTE MATERIAL PIEZA GRANDE + COSTE ELABORACIÓN
18	Beneficio (7%):	1,00	EUR/100 pz.	TODA PIEZA TIENE QUE TENER UN BENEFICIO. NOSOTROS LE APLICAMOS UN 7%
19	Precio por unidad PIEZA PEQUEÑA(16)+(18):	15,32	EUR/100 pz.	
20	Precio por unidad PIEZA GRANDE(17)+(18):	15,62	EUR/100 pz.	

Plan del cálculo para el molde

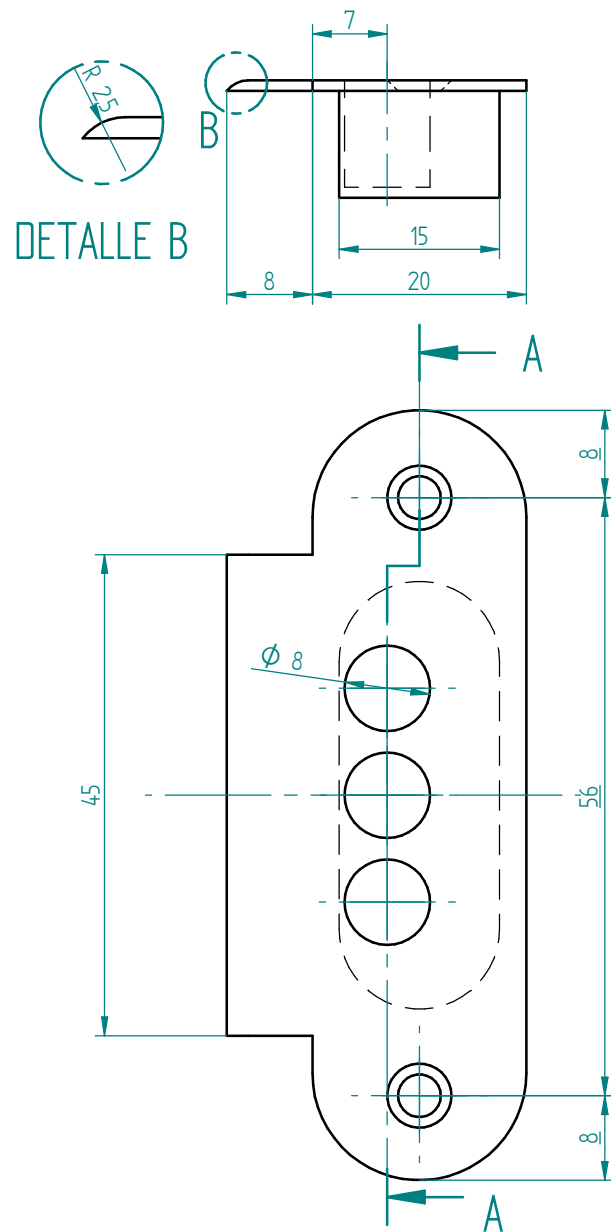
CALCULO DE COSTE DE LAS PLACAS				
Material		ACERO MECANIZADO		TIPO DE MATERIAL CON EL QUE SE FABRICARÁ EL MOLDE
1		Precio de materia prima	18,00 €/kg	PRECIO MATERIAL
2		Densidad del acero	7850,00 kg/m3	EL GASTO DE MATERIAL EN KG. PARA LA INYECCIÓN DE 100 UDS. DE LA PIEZA PEQUEÑA
3		Volumen del molde	0,16 cm3	EL GASTO DE MATERIAL EN KG. PARA LA INYECCIÓN DE 100 UDS. DE LA PIEZA GRANDE
4		Costes materiales PLACAS MOLDE (1)*(2)*(3)	22,89 €	COSTE EN EUROS DE MATERIAL PLACAS DEL MOLDE

CALCULO DE COSTE DE LA ESTRUCTURA				
Material		ACERO MECANIZADO (peor calidad)		TIPO DE MATERIAL CON EL QUE SE FABRICARÁ LA ESTRUCTURA
5		Precio de materia prima	6,00 €/kg	PRECIO MATERIAL
6		Peso	3,00 kg	EL GASTO DE MATERIAL EN KG. PARA LA INYECCIÓN DE 100 UDS. DE LA PIEZA PEQUEÑA
7		Costes materiales ESTRUCTURA MOLDE (5)*(6)	18,00 €	COSTE EN EUROS DE MATERIAL ESTRUCTURA DEL MOLDE

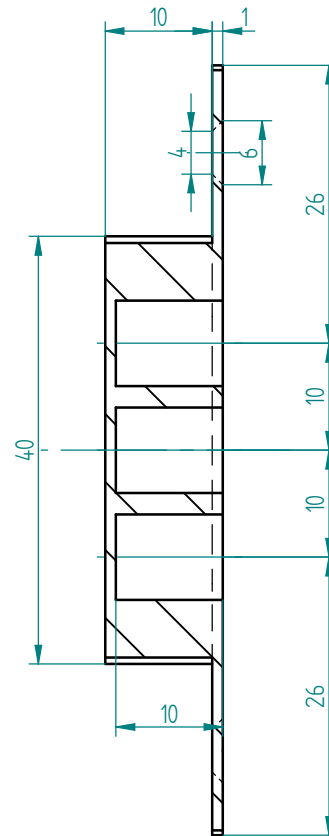
PRECIO MOLDE				
8		Piezas por molde	100,00 piezas	TIPO DE MATERIAL CON EL QUE SE FABRICARÁ LA ESTRUCTURA
9		Coste MOLDE ((4)+(7))/(8)	0,41 €	PRECIO MATERIAL
				COSTE EN EUROS DEL MOLDE POR PIEZA

ANEXO II

En el anexo del presente proyecto se incluyen los planos de las piezas fabricadas.



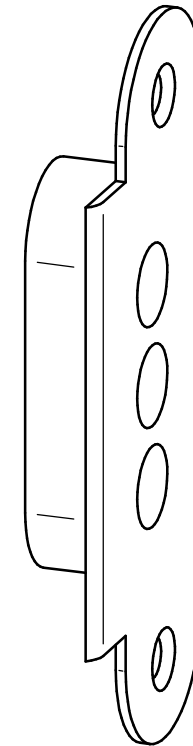
DETALLE B



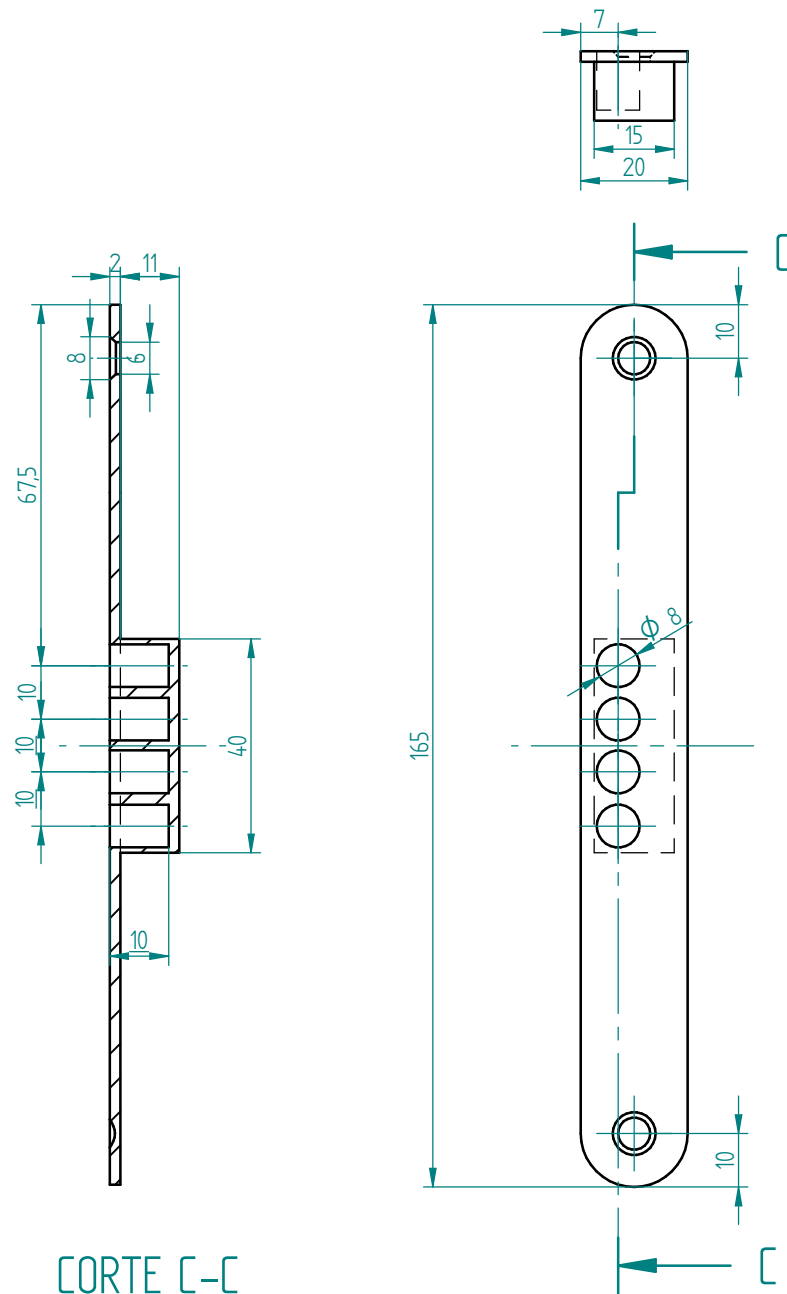
CORTE A-A

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

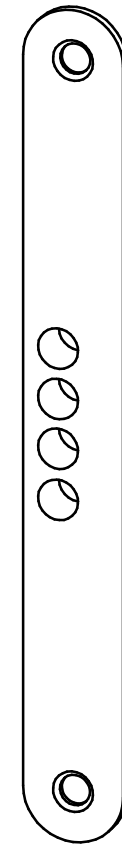
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado



Nombre	Fecha	Solid Edge Siemens PLM	
Dibujado	Elena Embid 8/09/20		
Comprobado		Título	
Aprobado 1			
Aprobado 2			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$		A3	Plano
		Archivo: Pieza marco.dft	
		Escala	Peso
Hoja 1 de 2		Rev	1



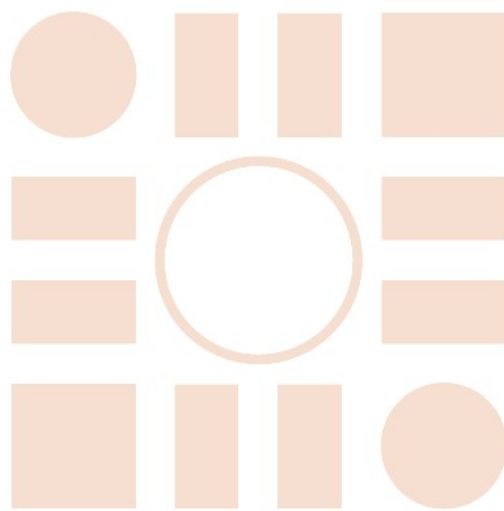
CORTE C-C



Dibujado	Elena Embid Irueste	Título Planimetría de las piezas		
Comprobado	Efrén Díez Jiménez			
Salvo indicación contraria cotas en milímetros ángulos en grados tolerancias ±0,5 y ±1º		A4	Resbalón manético silencioso	
		Escuela Politécnica Superior. UAH		
		Escala	1:1	Fecha

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Universidad de Alcalá
Escuela Politécnica Superior



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR



Universidad
de Alcalá